

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: ИШНПТ
 Направление подготовки: 150401/Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ): Материаловедение

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование технологических возможностей изготовления турбинной лопатки из никелевого сплава, полученного лазерным спеканием

УДК 669.245.018:62-135-226:621.762.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Волков Сергей Юрьевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Арляпов А.Ю.	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский В.Ю.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова С.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Арляпов А.Ю.	К.Т.Н.		

Планируемые результаты освоения ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Способность применять гуманитарные, естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин с применением компьютерных технологий.
P3	Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники.
P6	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, методическую документацию, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения, проводить обучающие семинары, лабораторные или практические занятия со студентами.
P7	Способность выполнять и обосновывать инженерные проекты для создания сложных конкурентоспособных изделий машиностроения и технологий их производства, в том числе с использованием современных CAD/ CAM/ CAE продуктов.
P8	Готовность обеспечивать прогрессивную эксплуатацию оборудования и других средств технологического оснащения автоматизированного производства изделий машиностроения, осваивать и совершенствовать технологические процессы изготовления новых конкурентоспособных изделий, обеспечивать их технологичность.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа: ИШНПТ

Направление подготовки: 150401/Машиностроение

Отделение школы (НОЦ): Материаловедение

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ71	Волкову Сергею Юрьевичу

Тема работы:

Исследование технологических возможностей изготовления турбинной лопатки из никелевого сплава, полученного лазерным спеканием

Утверждена приказом директора (дата, номер)	13.05.2019 №3658/с
---	--------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе: 1. Брусек композита на основе никеля NiTi-TiB ₂ . 2. Химический состав и физико-механические свойства композита.	Задачи: 1. Изучить обрабатываемость композита NiTi-TiB ₂ фрезерованием концевыми фрезами. 2. Изучить возможность изготовления турбинной лопатки из данного сплава.
--	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Обзор научно-технической литературы. 2. Выбор концевой фрезы с наиболее оптимальными геометрическими параметрами. 3. Определение оптимальной скорости резания; 4. Определение оптимального значения подачи на зуб; 5. Определение оптимального соотношения глубины и ширины фрезерования. 6. Изучение возможности изготовления турбинной лопатки из композита NiTi-TiB ₂ .
Перечень графического материала	1. Демонстрационный материал (презентация в MS Power Point);
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Исследовательский	Арляпов Алексей Юрьевич
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич
Социальная ответственность	Романова Светлана Владимировна
Исследовательский (на англ. яз.)	Ажель Юлия Петровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1. Введение 2. Обзор научно-технической литературы 3. Методика эксперимента	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Арляпов А.Ю.	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Волков Сергей Юрьевич		

Выпускная квалификационная работа 86 с., 30 рис., 15 табл., 30 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: композит, никель, фрезерование, лазерное спекание, турбинные лопатки, обрабатываемость, режимы резания, ширина фрезерования, глубина фрезерования, износ, силы резания, стойкость инструмента.

Объект исследования – заготовка из композита на основе никеля, полученная из порошка спеканием на 3d принтере.

Цель работы - исследование обрабатываемости фрезерованием композита NiTi-TiB₂, полученного спеканием порошка на 3d принтере.

Степень внедрения: изготовлен опытный образец турбинной лопатки из представленного композита.

Область применения: авиационная промышленность, ракетно-космическая промышленность.

Экономическая эффективность может быть проанализирована после внедрения данного композита для изготовления турбинных лопаток. В данный момент материал находится на стадии разработки.

Оглавление

Введение	8
1. Исследовательская часть	12
1.1. Анализ литературы.....	12
1.2. Методика эксперимента.....	14
1.3. Анализ полученных данных	18
2. Технологическая часть	28
2.1. Первый этап	29
2.1.1. Изготовление лопатки.....	29
2.1.2. Изготовление колеса.....	31
2.1.3. Выводы	34
2.2. Второй этап	34
2.2.1 Изготовление лопатки.....	34
2.2.2. Выводы	36
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
3.1. Организация и планирование работ	38
3.2. Продолжительность этапов работ	39
3.3. Расчет сметы затрат на выполнение проекта	44
3.4. Расчет затрат на материалы	44
3.5. Расчет заработной платы	45
3.6. Расчет затрат на социальный налог	46
3.7. Расчет затрат на электроэнергию.....	46
3.8. Расчет амортизационных расходов	48
3.9. Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе	49
платежных (расчетных) документов (кроме суточных)	49
3.10. Расчет прочих расходов	49
3.11. Расчет общей себестоимости разработки.....	49
3.12. Расчет прибыли	50
3.13. Расчет НДС.....	50
3.14. Цена разработки НИР.....	51
3.15. Оценка экономической эффективности проекта.....	51
4. Социальная ответственность	
4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	54
4.2. Производственная безопасность	57
4.3. Анализ выявленных вредных факторов	58
4.3.1. Отклонение показателей микроклимата	58
4.3.2. Повышенный уровень шума.....	60

4.3.3. Повышенный уровень вибраций	61
4.3.4. Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	62
4.3.5. Эмоциональные нагрузки.....	63
4.3.6. Электробезопасность	64
4.3.7. Движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся изделия, заготовки и материалы	65
4.4. Экологическая безопасность	66
4.5. Защита в чрезвычайных ситуациях (ЧС)	68
4.6. Заключение	70
Список используемых источников и литературы	71
Приложение А	74

Введение

В настоящее время все большее распространение получают сплавы металлов и композиты, полученные с помощью аддитивных технологий, таких как лазерное спекание порошка на 3d принтере. Такие материалы могут обладать более высокими параметрами прочности, твердости, износостойкости по сравнению с обычными сплавами. На данный момент около 29 металлов и сплавов производятся в виде порошков, включая нержавеющие и инструментальные стали, алюминиевые сплавы, а также жаропрочные стали [1]. Создание порошковых материалов позволяет получать новые свойства сплавов, за счет изменения структуры материала определенным образом.

В данной статье рассмотрен композит на основе NiTi с введением в его матрицу керамических частиц диборида титана (TiB_2). Он разрабатывался для изготовления турбинных лопаток. Лопатки и лопасти газовых турбин работают при высоких температурах и нагрузках. Стали используемые для изготовления деталей турбодвигателей должны обладать следующими свойствами: высокая прочность, высокая ударная вязкость, жаропрочность, коррозионная стойкость и др. В настоящее время для изготовления турбинных лопаток применяют следующие марки сталей: ХН35ВТЮ, ХН55ВМТКЮ, ХН62МВКЮЛ, ХН67МВТЮЛ, ХН70МВТЮБ, ХН75ВМЮ, ХН80ТБЮ, ЖС6УД [2]. Необходимо отметить, что основным компонентом указанных сплавов является Ni.

Однако характеристики этих сплавов на сегодняшний день не удовлетворяют всем требованиям указанным выше. Становится необходимым создавать новые материалы с измененной структурой. Для решения этих задач создают сплавы и композиты металлов с помощью аддитивных технологий. Композиты, полученные путем аддитивных технологий, зачастую имеют неравномерное распределение добавляемых частиц внутри металлической матрицы, что существенно снижает их физико-механические характеристики [3].

С целью решения этой проблемы в исследовании [1] авторы использовали метод получения композитных частиц на основе самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Особенность, полученного таким способом порошка заключается в том, что их составная структура формируется в реакционной смеси на стадии синтеза, а не путем механического перемешивания. В итоге их композитная структура представляет собой металлическую матрицу с равномерными включениями керамических частиц (рис. 1). В качестве исходных материалов для синтеза металлокерамических композитов в работе [1] использовался порошок Ni, порошок Ti и высокочистые порошки аморфного бора. Исходная смесь смешивалась в пропорции 63,5 мас.% Ni-B + 36,5 мас.% Ti. Чтобы получить гомогенные смеси, порошки смешивали в планетарной шаровой мельнице.

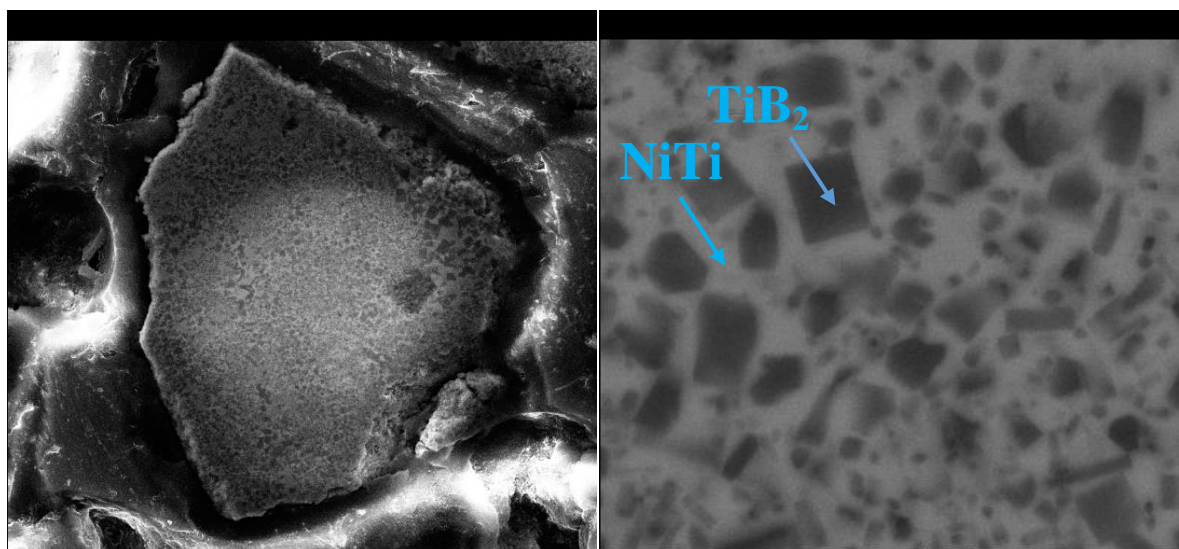
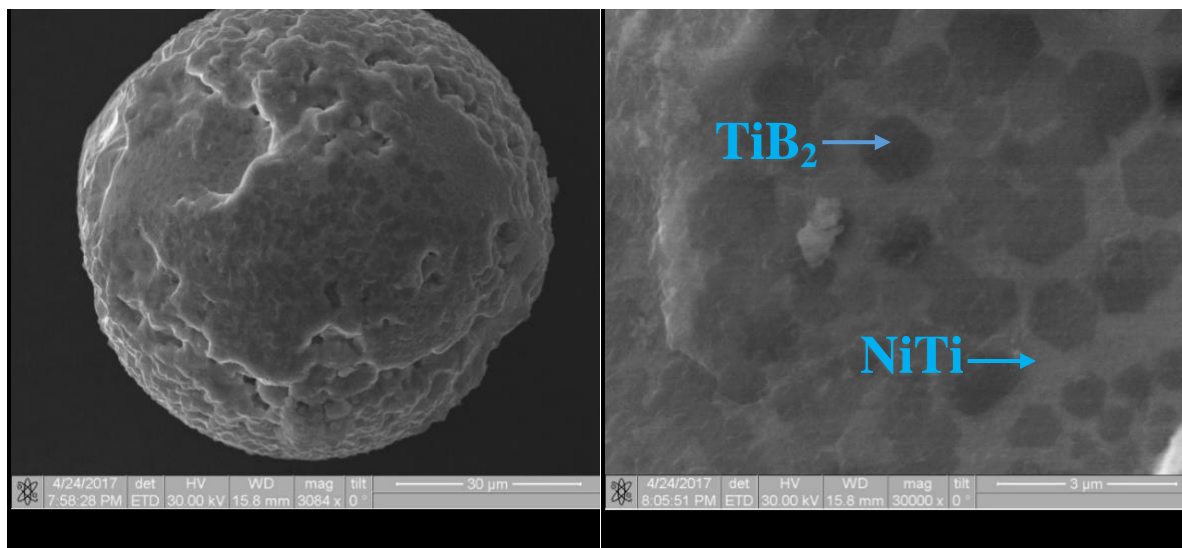


Рис. 1. Схема структуры порошков NiTi-TiB₂, полученных с использованием технологии СВС.

После СВС образцы имели форму цилиндрических коржей, из которых после нескольких этапов измельчения в планетарной шаровой мельнице получали порошок. Затем с помощью плазматрона производилась сфероидизация - плазменная обработка порошка с целью получить состав, состоящий из сферических порошковых частиц, необходимый для процесса прямого лазерного напыления (рис. 2).



(a)

(б)

Рисунок 2. Структура керамических металлокомпозитных порошков NiTi-TiB₂ после плазменной сфероидизации: (а) изображение частиц порошка NiTi-TiB₂ (б) изображение микроструктуры порошковых частиц NiTi-TiB₂.

Из полученных описанным выше способом порошков лазерным спеканием получили образцы в виде брусков. Химический состав и некоторые физико-механические свойства, полученных брусков представлены ниже.

Таблица 1.

Физико-механические свойства	Значение
Плотность, МПа	8,3
Предел прочности при сжатии, МПа	1830
Предел прочности при растяжении, МПа	860
Предел прочности при изгибе, МПа	1320
Предел текучести при сжатии, МПа	990 - 1090
Предел текучести при растяжении, МПа	110 - 160
Модуль упругости, ГПа	290 - 330
Коэффициент Пуассона	0,29
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	12,5 - 13,6

Коэффициент линейного температурного расширения, K^{-1}	$11,3 - 12,4 \cdot 10^{-6}$
Относительная деформация образца при сжатии	0,32
Относительная деформация образца при растяжении	0,11
Твердость (H_V), HRC	44 - 46

Полученный описанным выше способом композит обладает повышенной износостойкостью и термостойкостью. Он является новым, поэтому его обрабатываемость резанием в настоящий момент не изучена. Так как данный материал разработан для изготовления турбинных лопаток, то основной операцией для его механической обработки является фрезерование. В данной работе приведено исследование обрабатываемости фрезерованием композита NiTi-TiB₂, полученного спеканием порошка на 3d принтере.

Для данного исследования кафедре были предоставлены заготовки в виде двух брусков 172x100x32 мм (рис. 3).

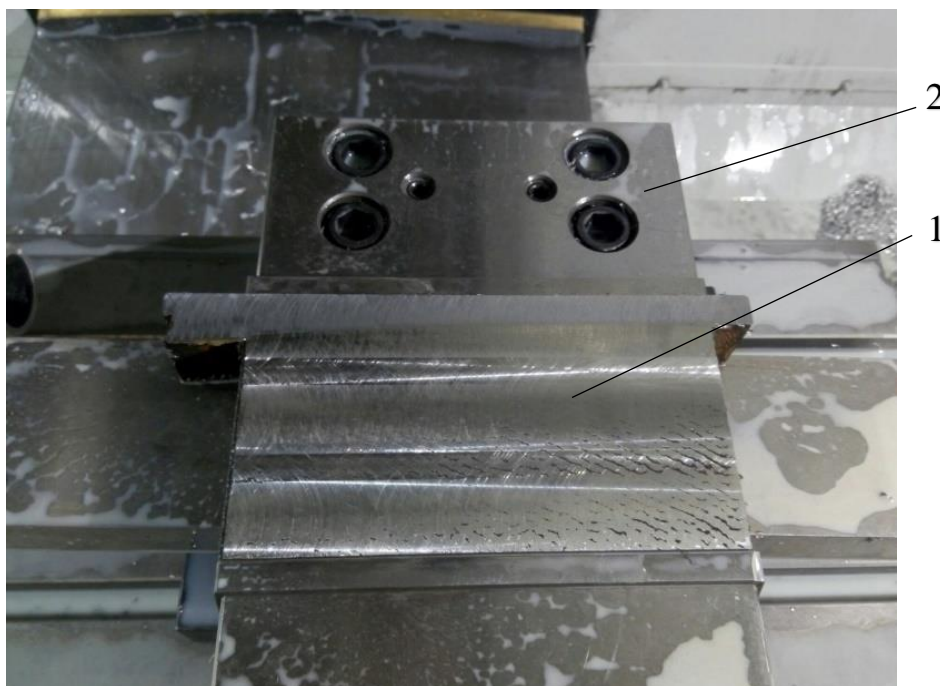


Рис. 3. Фотография заготовки из никелевого сплава, установленной в тисках на фрезерном станке. 1 – заготовка; 2 – тиски

1. Исследовательская часть

1.1. Анализ литературы

Под термином обрабатываемость понимают свойство металлов подвергаться обработке резанием. Согласно [4] основными показателями для оценки обрабатываемости являются: силы резания, качество поверхностного слоя, износ инструмента, теплота, выделяющаяся при деформации материала срезаемого слоя, наличие или отсутствие склонности к наростообразованию, а также вид, форма и размеры срезанной стружки. В зависимости от этих характеристик все материалы подразделяют на 8 групп [1].

Учитывая химический состав изучаемого материала, по рекомендациям из справочника [2] сплав NiTi-TiB₂ следует отнести к IV-V группе обрабатываемости. К этим группам относятся жаропрочные, жаростойкие, кислотостойкие стали, сплавы на никелевой и железоникелевой основе. Указанные группы, в сравнении со сталью 45, обладают очень низкой обрабатываемостью с коэффициентом от 0,16-0,08 (для стали 45 этот коэффициент равен 1).

Особенность изучаемого композита в том, что в его состав входит большое количество диборида титана TiB₂ (около 18%), это твердое соединение, являющееся мощным абразивом, который должен существенно влиять на стойкость режущего инструмента. Также необходимо отметить, что это новый материал и его обрабатываемость резанием ранее не изучалась.

Согласно справочнику [5] при обработке жаропрочных никелевых сплавов фрезерованием рекомендуется использовать инструмент из твердого сплава, производить обработку на малых скоростях резания около 15-20 м/мин с подачей на зуб 0,02 мм/зуб. Рекомендации для металлов, полученных аддитивными методами из порошков, отсутствуют.

Также отсутствуют рекомендации по выбору оптимального соотношения глубины и ширины фрезерования. В зарубежной литературе описан метод высокоэффективного фрезерования (High Efficiency Milling,

НЕМ). Данный метод предназначен для черновой обработки металлов с использованием малой глубины фрезерования (t) и большой ширины фрезерования (B).

Традиционное фрезерование, при котором обычно используются большое значение t и маленькая ширина B , вызывает концентрацию тепла в одной небольшой части режущего инструмента, ускоряя процесс износа. Использование же всей доступной длины режущей части фрезы позволяет распределить износ по большей площади, продлевая срок службы инструмента, а также рассеивает тепло и снижает вероятность поломки фрез. НЕМ предполагает использование 7-30% диаметра фрезы в радиальном направлении и удвоенного диаметра фрезы в осевом в сочетании с увеличенной скоростью подачи [6].

На основании анализа литературы следует, что исследование обрабатываемости композита на основе никеля не изучена и работа является актуальной.

Основными задачами данной работы являются:

1. Выбор концевой фрезы с наиболее оптимальными геометрическими параметрами из условий износостойкости;
2. Определение оптимальной скорости резания;
3. Определение оптимального значения подачи на зуб;
4. Определение оптимального соотношения глубины и ширины фрезерования, исходя из условий минимального износа инструмента и минимальных сил резания, возникающих в процессе обработки.
5. Определение возможности изготовления опытного образца турбинной лопатки и турбинного колеса из представленного композита.

1.2. Методика эксперимента

Все работы выполнялись на вертикально-фрезерном обрабатывающем центре с ЧПУ модели VF1 фирма «Haas» (США) (рис.1.1).

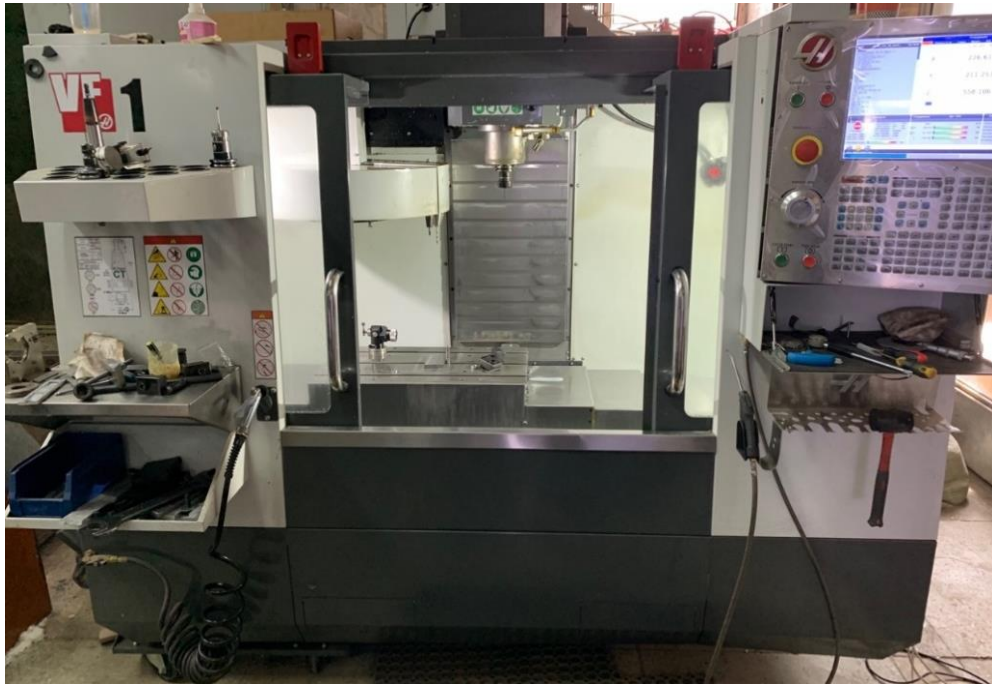


Рис. 1.1. Вертикально-фрезерный обрабатывающий центр с ЧПУ Haas VF-1

Для выполнения первой задачи в качестве инструмента использовали цельнотвердосплавные концевые фрезы $\varnothing 10$ мм фирмы «ПК МИОН» (Россия). Для эксперимента были выбраны три концевые фрезы с различной геометрией:

- Фреза 3Т643, предназначенная для обработки закаленных сталей твердостью свыше 60 HRC; передний угол $\gamma = -7^\circ$, задний угол $\alpha = 9^\circ$, угол винтовой канавки $\omega = 45^\circ$, число зубьев $z = 6$.
- Фреза ЖТ641 предназначена для обработки титановых сплавов; $\gamma = 4^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\omega = 38^\circ$, $z = 4$.
- Фреза Н630 предназначена для обработки нержавеющей сталей; $\gamma = 12^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\omega = 38^\circ$, $z = 4$.

На станке фрезы закреплялись в цанговом патроне с одинаковым вылетом, величина которого составляла $24 \pm 0,5$ мм.

В ходе эксперимента каждой фрезой обрабатывались пазы (рис. 1.2), при этом глубина фрезерования t всегда равнялась диаметру фрезы. Режимы

резания изменялись в диапазонах: $V = 15 - 20$ м/мин; $S_z = 0,02 - 0,06$ мм/зуб; $B = 1 - 3$ мм. При этом для качественной и количественной оценки результатов эксперимента измерялся износ фрез и силы резания.

Была выбрана схема попутного фрезерования, так как при такой схеме стойкость фрезы наибольшая. При фрезеровании по данной схеме зуб фрезы сразу начинает срезать слой максимальной толщины и подвергается максимальной нагрузке. Это исключает начальное проскальзывание зуба, уменьшает износ фрезы и шероховатость обработанной поверхности. Сила, действующая на заготовку, прижимает ее к столу станка, что уменьшает вибрации.

При встречном фрезеровании нагрузка на зуб фрезы возрастает от нуля до максимума, при этом сила, действующая на заготовку, стремится оторвать ее от стола, что приводит к вибрациям и увеличению шероховатости обработанной поверхности.

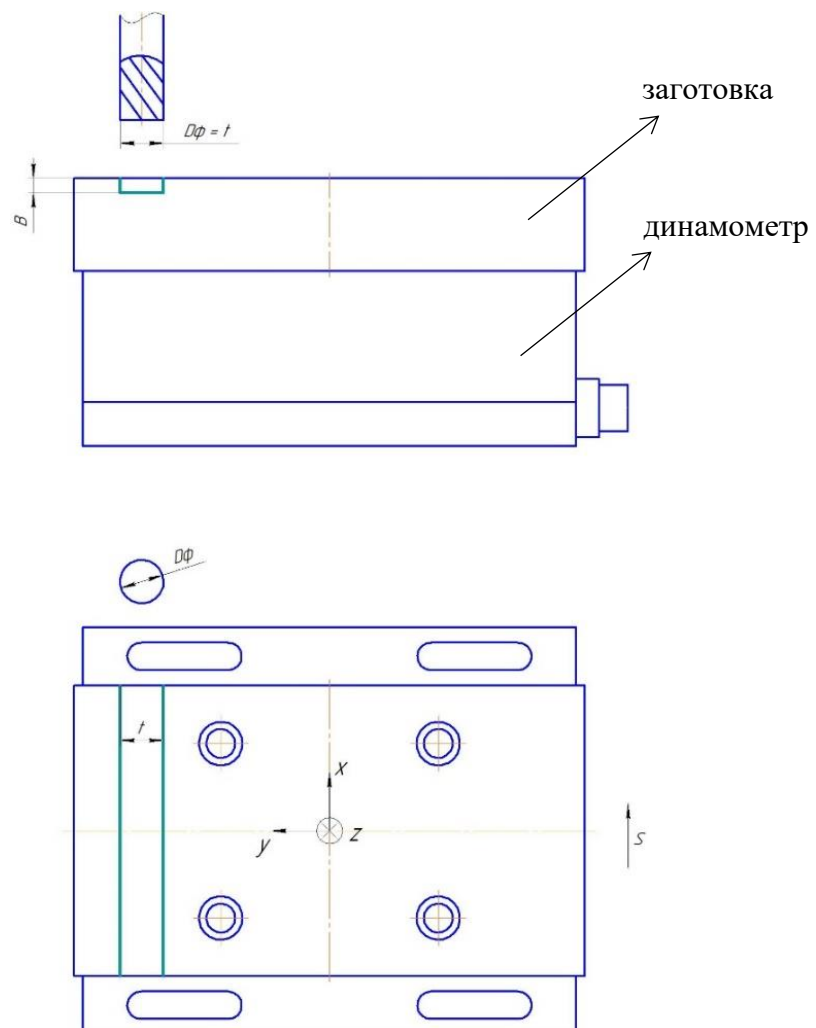


Рис. 1.2. Схема обработки

Износ инструмента оценивали по фаске износа на задней поверхности. Фаску износа измеряли на микроскопе УИМ 21 (рис. 1.3). Измерение выполняли на каждом зубе фрезы, при этом у фаски износа определяли два параметра: максимальное значение, которое всегда находилось рядом с вершиной зуба и среднее значение износа, которое имело достаточно стабильную величину.

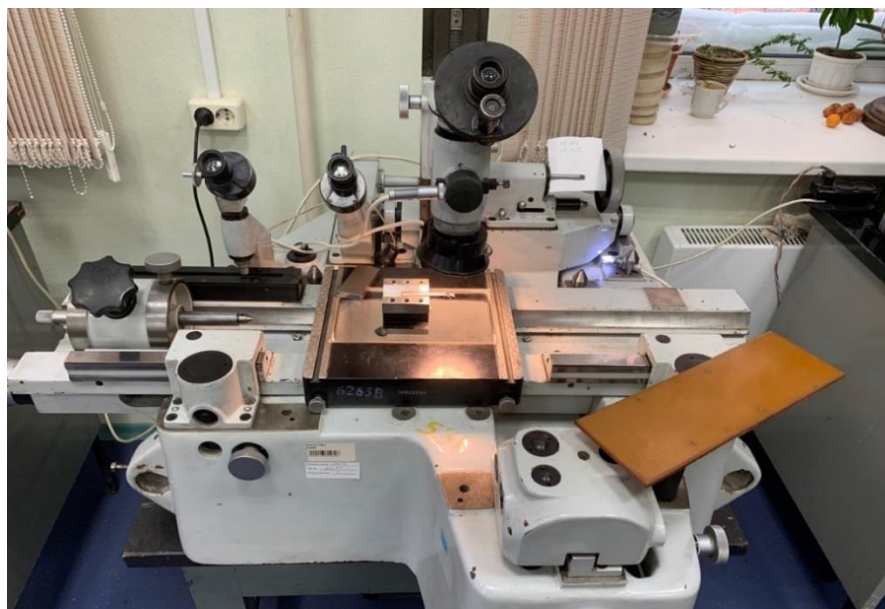


Рис. 1.3. Микроскоп УИМ 21

Силы резания определяли с помощью динамометра Kistler 9257B (Швейцария). Запись сил производилась в течение всего времени фрезерования. Измерения проводились в трех взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 1.4). Для оценки результатов использовалась суммарная сила $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$, действующая в плоскости динамометра.

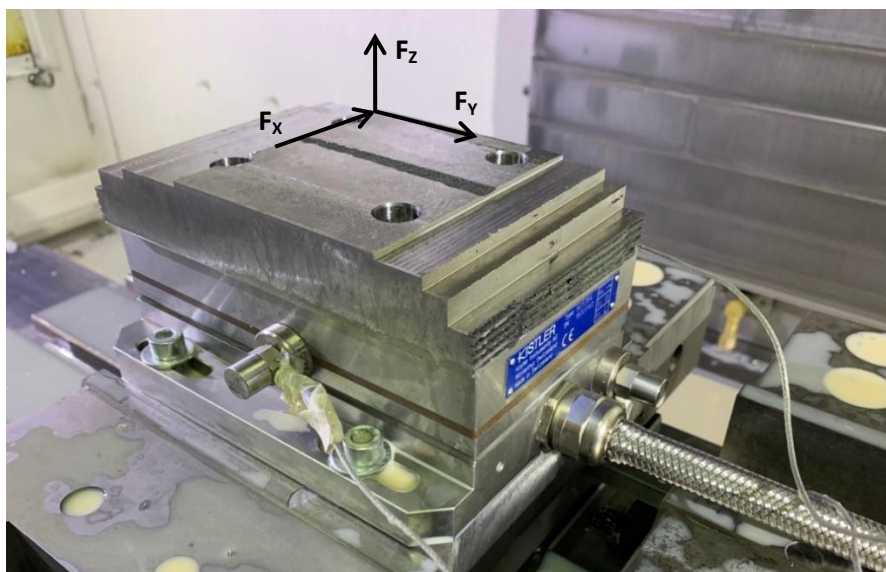


Рис. 1.4. Заготовка на динамометре

Динамометр, установленный на специальную плиту, закреплялся в станочных тисках. На нем с помощью четырех винтов крепилась заготовка в виде бруска (рис. 1.4). Перед началом экспериментов в заготовке были подготовлены крепежные отверстия.

Для решения второй задачи при выборе оптимальной скорости резания выполняли обработку на трех режимах: $V_1 = 25$ м/мин; $V_2 = 35$ м/мин и $V_3 = 50$ м/мин. При этом подача на зуб, глубина и ширина фрезерования оставались постоянными: $S_z = 0,04$; $B = 4$; $t = 1$. Через одинаковые промежутки времени измерялся износ фрез.

Для работы была выбрана схема попутного фрезерования, так как при такой схеме стойкость фрезы наибольшая [2].

Для определения оптимального соотношения глубины и ширины фрезерования, при котором стойкость фрезы будет наибольшая. Было принято три варианта соотношения t к B при условии одинакового объема срезаемого слоя в единицу времени, то есть режимов, обеспечивающих одинаковую производительность. Сравнивались соотношения, показанные на рисунке 1.5.

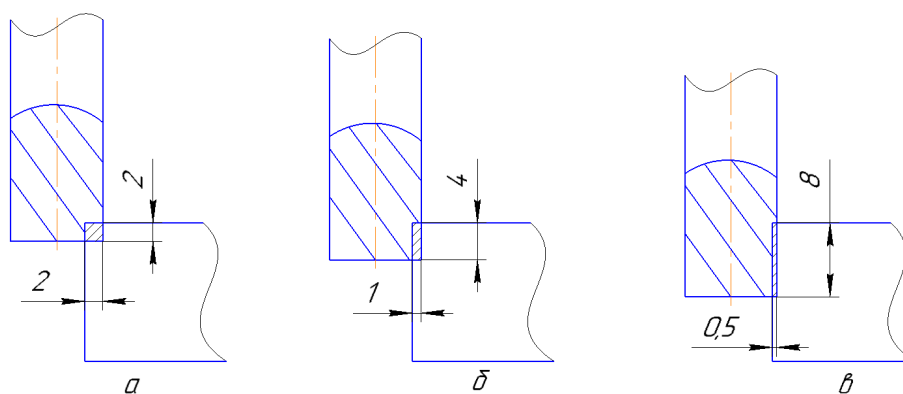


Рис. 1.5. Схемы фрезерования

Так для фрезы №1 глубина и ширина фрезерования равнялись $t = 2$ мм и $B = 2$ мм соответственно. Для фрезы №2 глубина равнялась $t = 1$ мм, следовательно, ширина увеличивалась до $B = 4$ мм. У фрезы №3 при $t = 0,5$ мм ширина равнялась $B = 8$ мм.

Для сбора и анализа данных использовалось программное обеспечение DynoWare (Kistler, Швейцария). Обработка всех полученных данных выполнялась в программе Microsoft Excel.

1.3. Анализ полученных данных

В первом эксперименте при выборе оптимальной геометрии инструмента, фреза ЖТ641, предназначенная для обработки жаропрочных сталей и титановых сплавов, обладала наибольшей стойкостью. Силы резания в процессе ее работы совпадали с силами при работе фрезы Н630, но фреза Н630 была подвержена сильным вибрациям. Фреза ЗТ643 имела самые большие значения износа и сил резания, что связано с большим количеством зубьев (6) и отрицательным передним углом. На рисунке 1.6 представлены данные, полученные с динамометра при работе фрезой ЖТ641 в первом эксперименте.

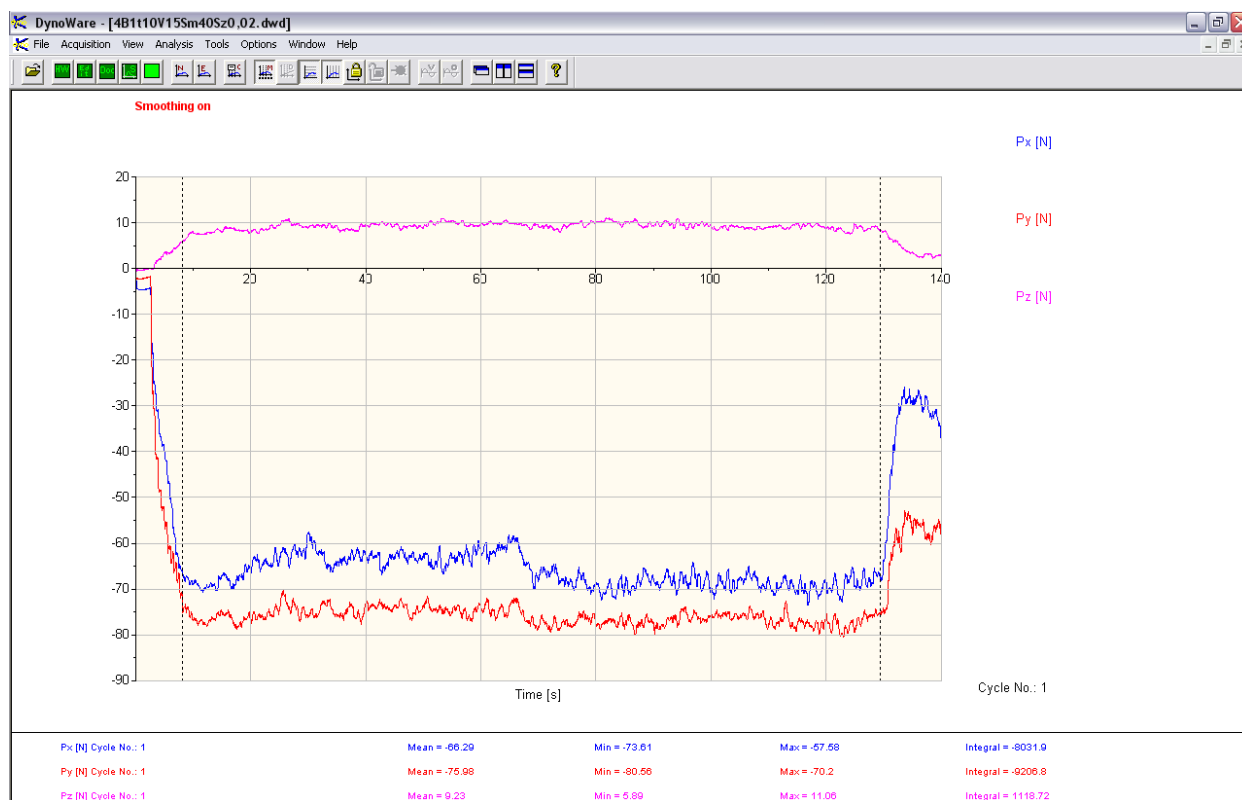


Рис. 1.6. График действия сил резания при обработке паза глубиной $B = 1$ мм фрезой ЖТ641 с режимами резания $V = 15$ м/мин; $S_z = 0,02$ мм/зуб

По оси X на данном графике время одного прохода в секундах, по оси Y сила резания в ньютонах. Из-за несовпадения направления осей

динамометра и движения фрезы, силы на графике имеют знак минус. Красным и синим цветом показаны силы по осям Y и X динамометра, отжимающие фрезу в процессе резания. Среднее значение суммы этих сил использовалось в дальнейшем для построения всех графиков. Розовым цветом – сила, действующая по оси Z и поднимающая заготовку во время работы. Она имела небольшие значения и не использовалась для анализа.

Данные, полученные в результате первого эксперимента, представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1.

Фреза ЗТ643						
В, мм	V, м/мин	Sz, мм/зуб	Sm, мм/мин	Px, Н	Py, Н	Pz, Н
1	15	0,02	58	111	106	-6
1	20	0,02	77	98	115	4,6
1	15	0,04	115	140,5	164,5	15,5
1	20	0,04	150	131	155	12
3	15	0,02	58	282	330	-13
3	20	0,02	77	281	319	-5
3	15	0,04	115	363	464	-25,7
3	20	0,04	150	361	460	-28,5
Фреза ЖТ641						
1	15	0,02	40	66	76	9
1	20	0,02	50	67	72	11,8
1	15	0,04	77	86,5	106	12,1
1	20	0,04	102	79	101	11
3	15	0,02	40	192	203	-5
3	20	0,02	50	212	205,5	-4,9
3	15	0,04	77	257	286	-16
3	20	0,04	102	288	294	-14,8
Фреза Н630						
1	15	0,02	40	50	52	0,3
1	20	0,02	50	65	64	7
1	15	0,04	77	90	101	7
1	20	0,04	102	95,5	100	6,5
3	15	0,02	40	191	194	-9,4
3	20	0,02	50	216	203	-8,7
3	15	0,04	77	252	292,5	-21
3	20	0,04	102	261,5	320,5	-23

В процессе эксплуатации инструмента было установлено, что основной износ идет по задней поверхности зуба фрезы. Износ имеет неравномерный характер. Было установлено, что критическим износом для работы по данному композиту является значение от 0,12 до 0,15 мм. После достижения

фрезой этих значений происходит резкое увеличение сил резания и вибраций.

Далее на первом этапе работы было установлено, что при увеличении подачи на зуб силы резания возрастают не пропорционально ее росту. Изменения подачи на зуб в два раза с 0,02 до 0,04 мм/зуб увеличивает силы резания примерно на 40%. Был проведен эксперимент с повышенной подачей до 0,06 мм/зуб. Стойкость фрезы при увеличенной подаче значительно упала, через 4-5 минут произошла поломка фрезы. Исходя из вышесказанного, в качестве оптимального значения была выбрана подача равная $S_z = 0,04$ мм/зуб.

Для определения оптимальной скорости резания было проведено сравнение износа фрез, работающих при скоростях 25, 35 и 50 м/мин (рис. 1.7). Значения износа, представленные на графиках, являются усредненным значением по трем измерениям каждого зуба фрезы. Все дальнейшие эксперименты проводились фрезами ЖТ641.

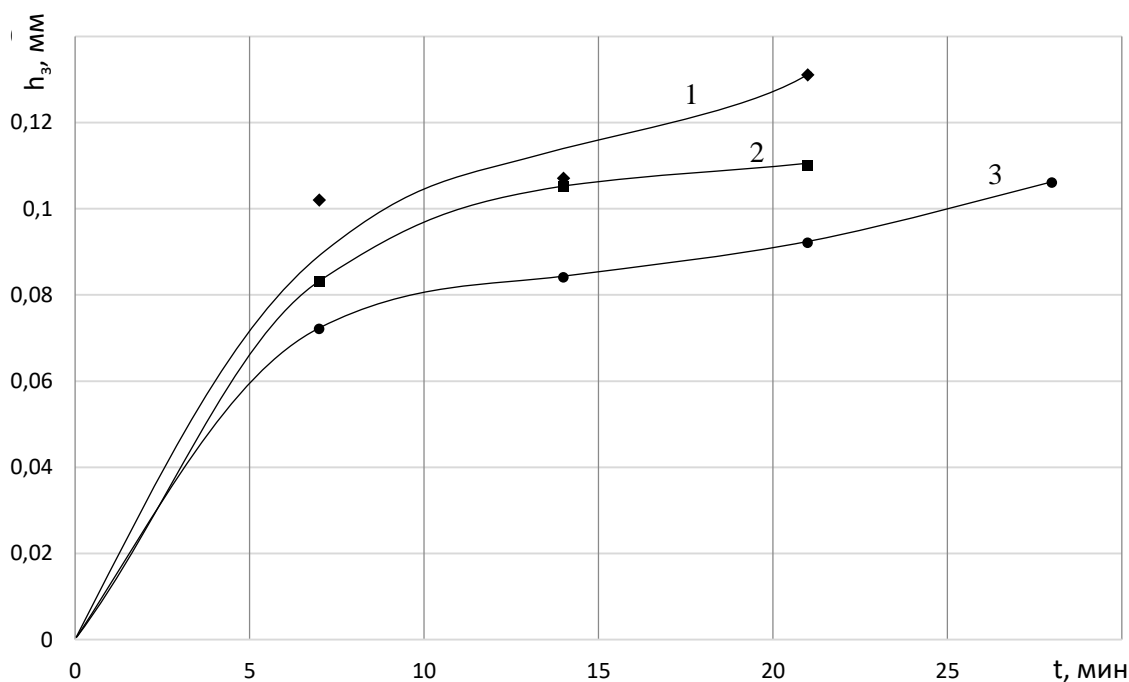


Рис. 1.7. График зависимости величины износа от времени работы для фрез
1 - $V = 50$ м/мин; 2 - $V = 35$ м/мин; 3 - $V = 25$ м/мин

Из графика видно, что фреза, работающая со скоростью резания 25 м/мин, испытала наименьший износ на данном промежутке времени. На 28-ой минуте работы он достиг значения 0,11 мм. Фреза, работающая при

скорости $V = 50$ м/мин, имеет наибольший износ. Значения 0,11 мм она достигла уже к 14 минуте.

Данные полученные с динамометра показывают резкий скачок сил при работе на скорости 50 м/мин.

Из диаграммы видно, что после трех минут работы фрезы средняя сила по оси динамометра Y равнялась 65 Н (рис. 1.8). Участок 1 на рисунке – действие сил за один проход фрезы, участок 2 – отвод и подвод инструмента. В отличие от фрезерования паза, при фрезеровании уступа силы по оси X имеют небольшие значения, рост которых не так существенен, как рост сил по оси Y .

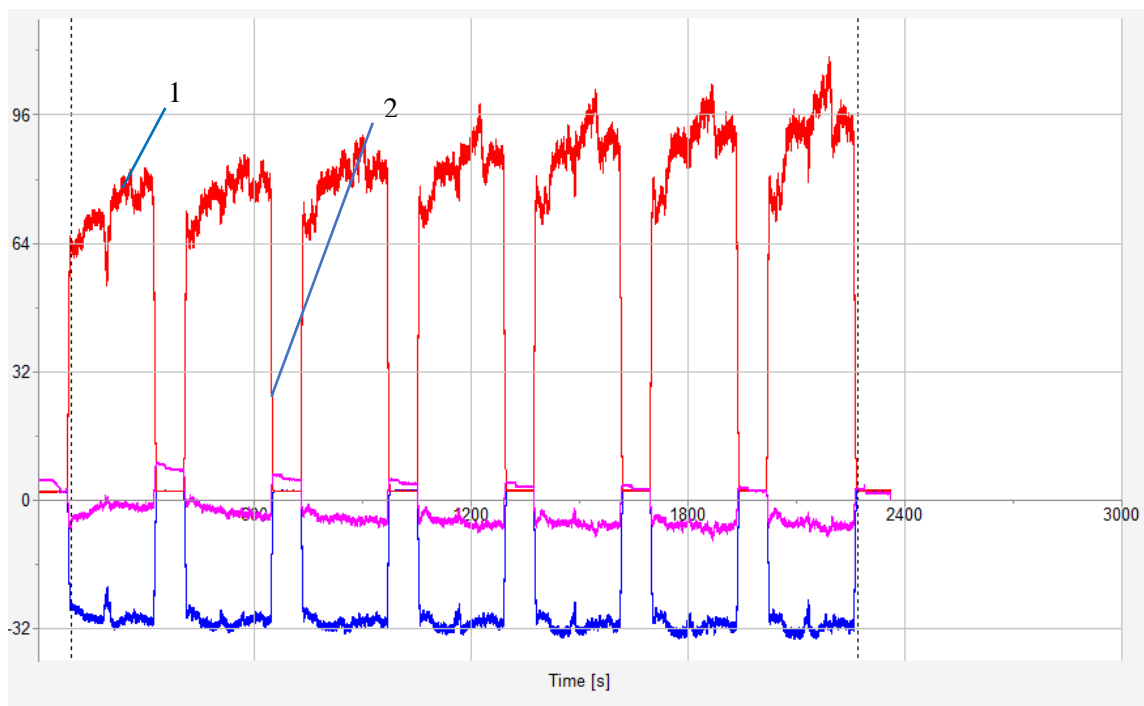


Рис. 1.8. Диаграмма сил резания, действующих на промежутке времени с 0 по 3 минуту работы фрезы

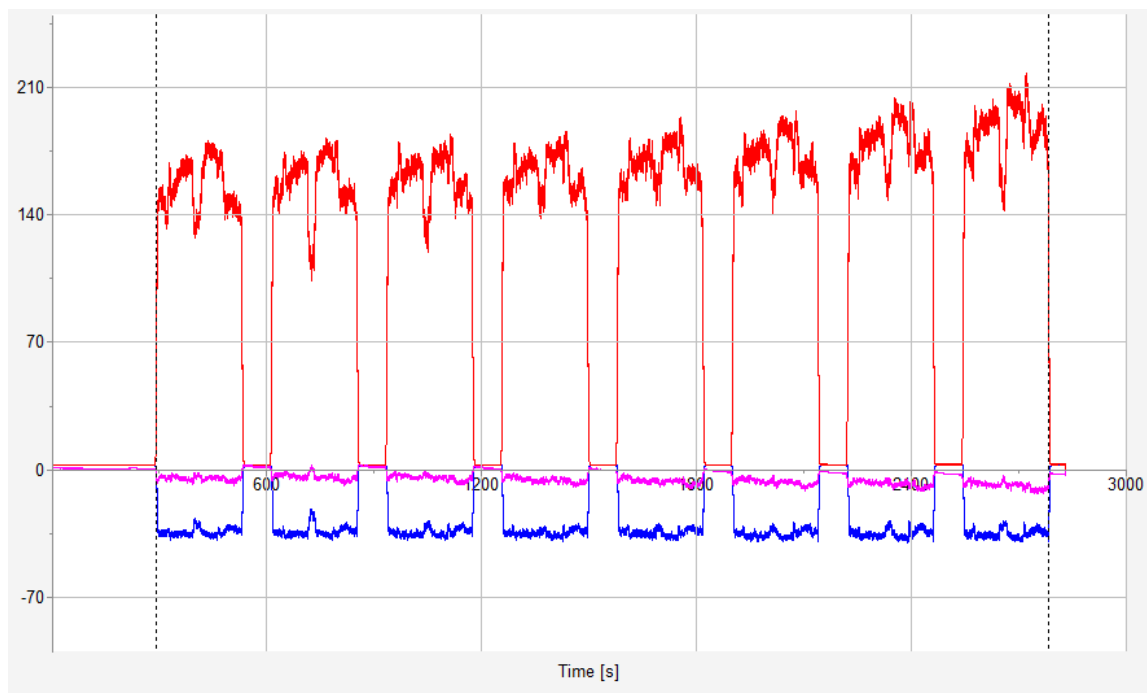


Рис. 1.9. Диаграмма сил резания, действующих на промежутке времени с 14 по 17 минуту работы фрезы

Уже к 17-ой минуте силы увеличились почти в 2 раза и равнялись 130 Н (рис. 1.9).

Для сравнения силы, действующие вдоль той же оси, после 7 минут работы фрезы со скоростью 25 м/мин равнялись 65 Н, а выросли до 100 Н только спустя 50 минут (рис. 1.10 и 1.11).

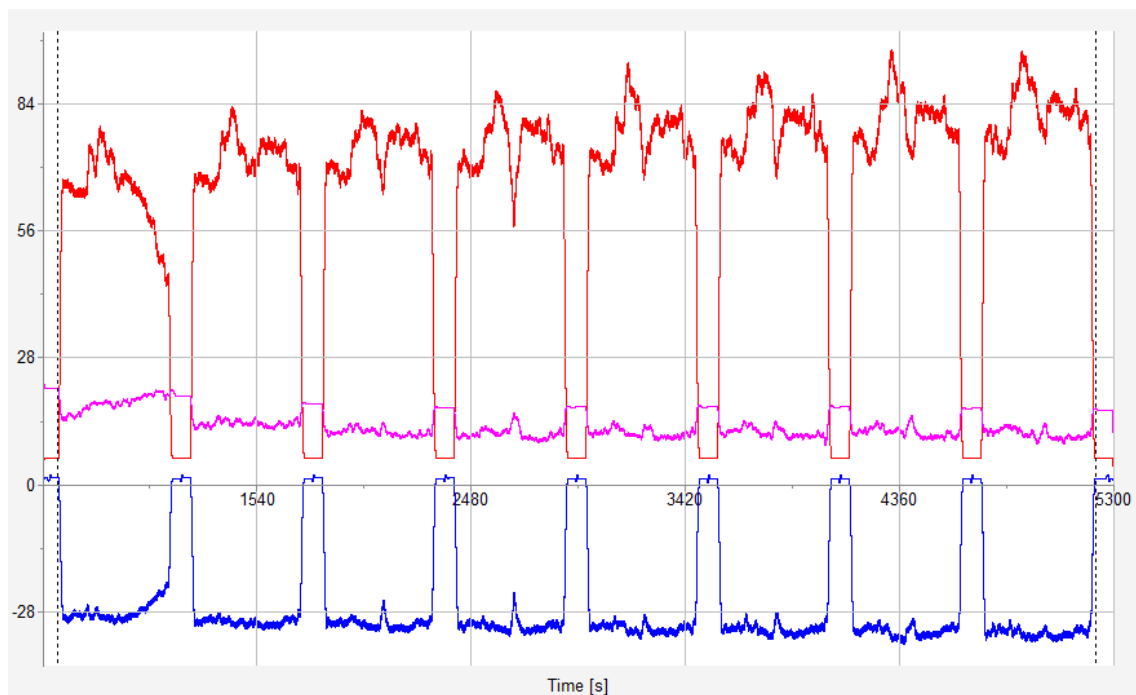


Рис. 1.10. Диаграмма сил резания, действующих на промежутке времени с 0 по 7 минуту работы фрезы

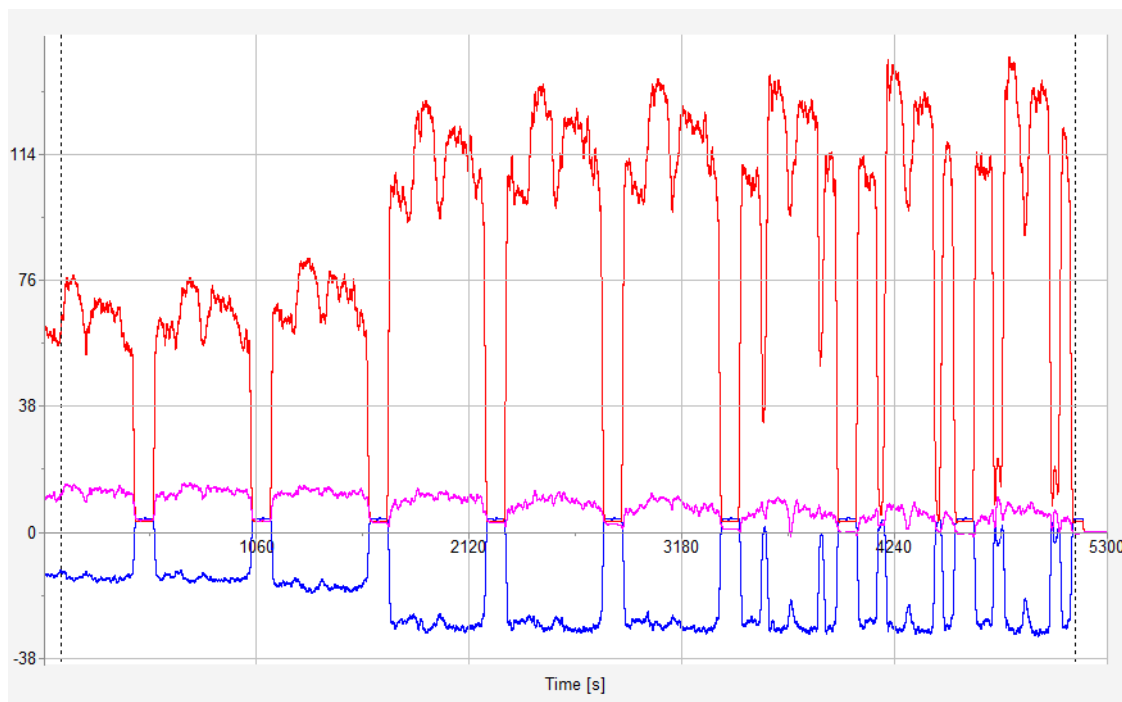


Рис. 1.11. Диаграмма сил резания, действующих на промежутке времени с 47 по 54 минуту работы фрезы

График зависимости силы резания от времени подтверждает существенный рост сил при увеличении износа (рис. 1.12). На скорости 25 м/мин наблюдается наиболее стабильный процесс, у фрезы, работающей при скорости $V = 50$ м/мин, идет интенсивный рост сил.

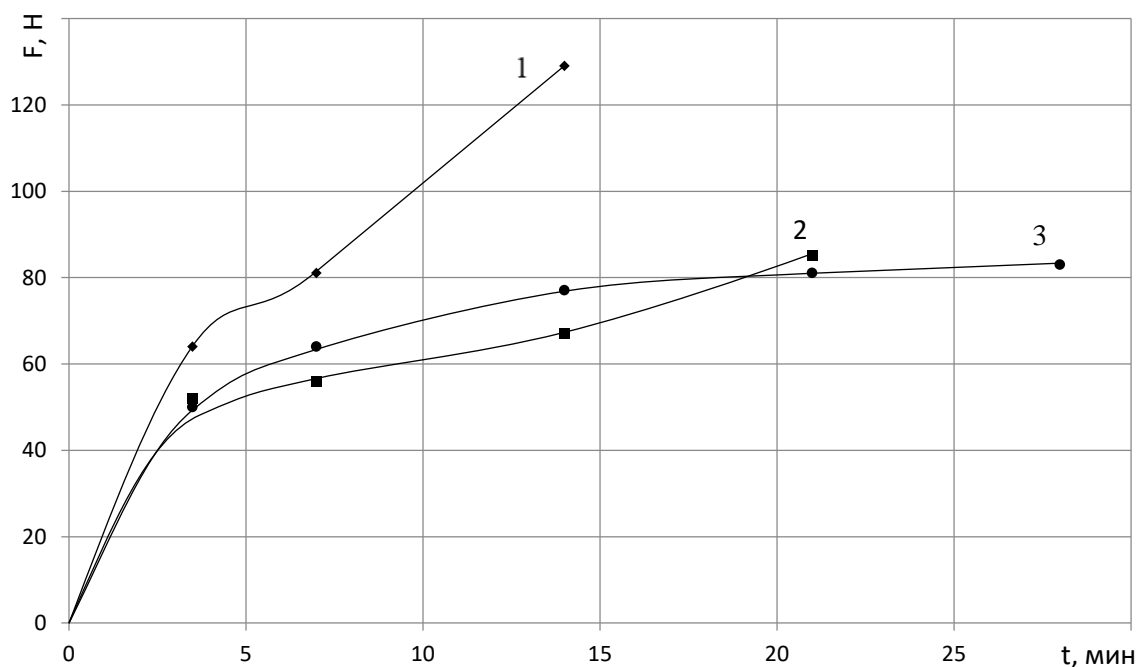


Рис. 1.12 График зависимости изменения сил резания от времени обработки
1 - $V = 50$ м/мин; 2 - $V = 35$ м/мин; 3 - $V = 25$ м/мин

На первых этапах работы эксперименты проводились и для скоростей 15 и 20 м/мин, но стойкость фрез не отличалась от стойкости при скорости 25 м/мин. В качестве оптимальной была выбрана скорость $V = 25$ м/мин.

Далее сравнивался износ и силы для трех различных соотношений глубины и ширины фрезерования для определения оптимальной схемы фрезерования (рис. 1.13).

В интервале 40 – 50 минут произошло критическое изнашивание фрез №1 и №2. Фреза №3, работающая при соотношении 1:16 проработала в два раза дольше остальных 120 минут и не подверглась катастрофическому износу. Критического износа равного 0,15 мм фреза №3 достигла на 92 минуте, в то время как фрезы №1 и №2 на 32 и 45 минутах соответственно. Износ третьей фрезы составил 0,28 мм.

Из графика сил видно, что у первых двух фрез с наступлением критического износа после 45-50 минут работы силы резко возрастали. До наступления критического износа у всех фрез силы имели близкие значения (рис. 1.14).

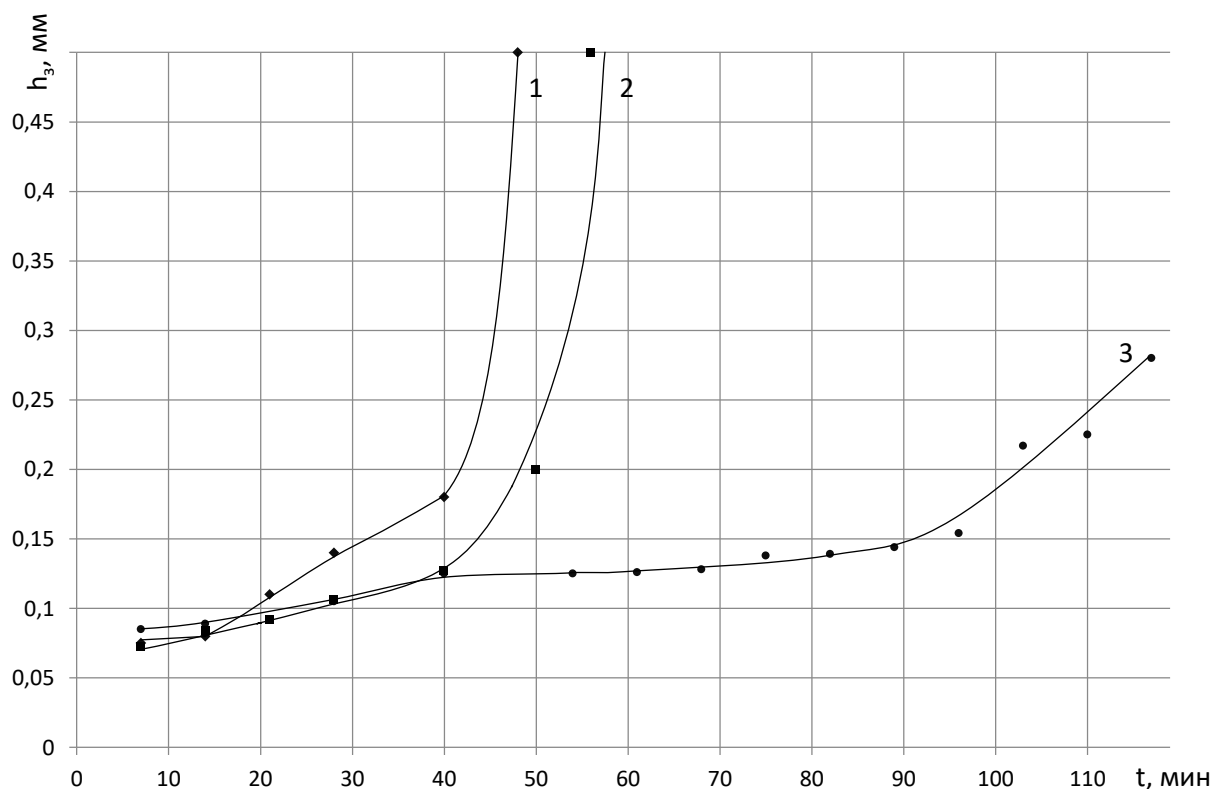


Рис. 1.13. График зависимости величины износа от схемы работы для фрез
1 – фреза №1; 2 фреза №2; 3 фреза №3

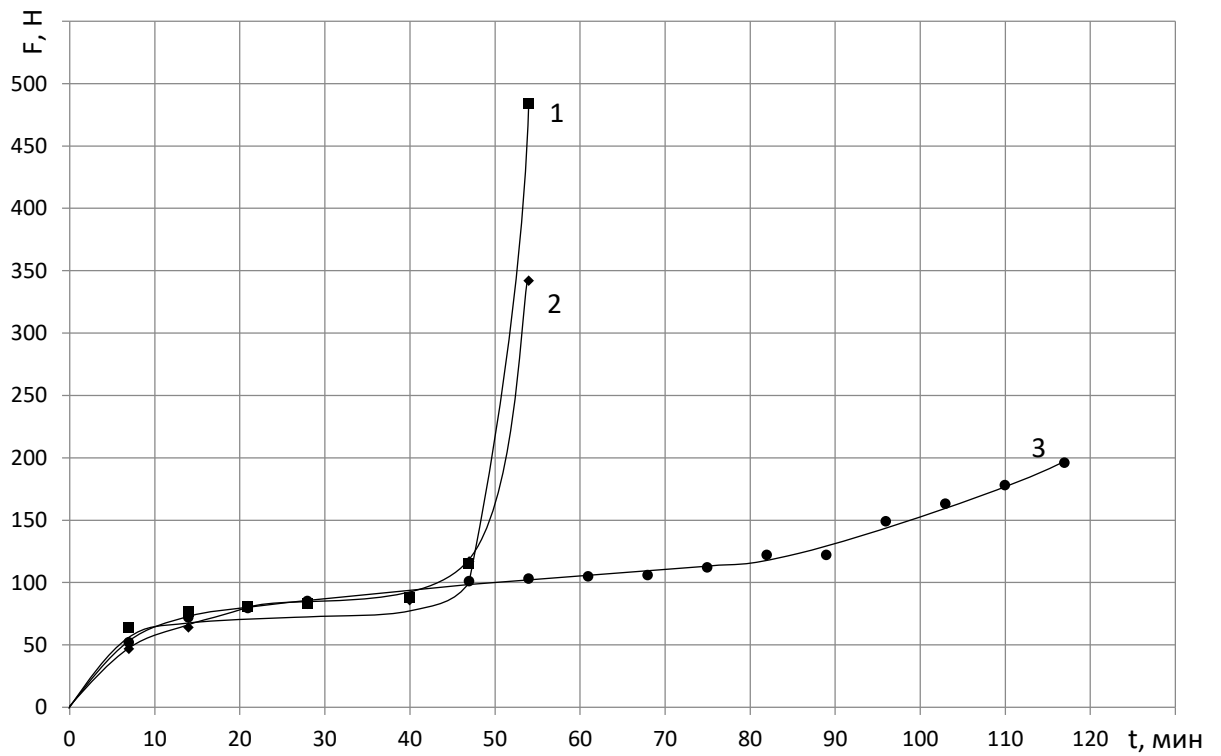
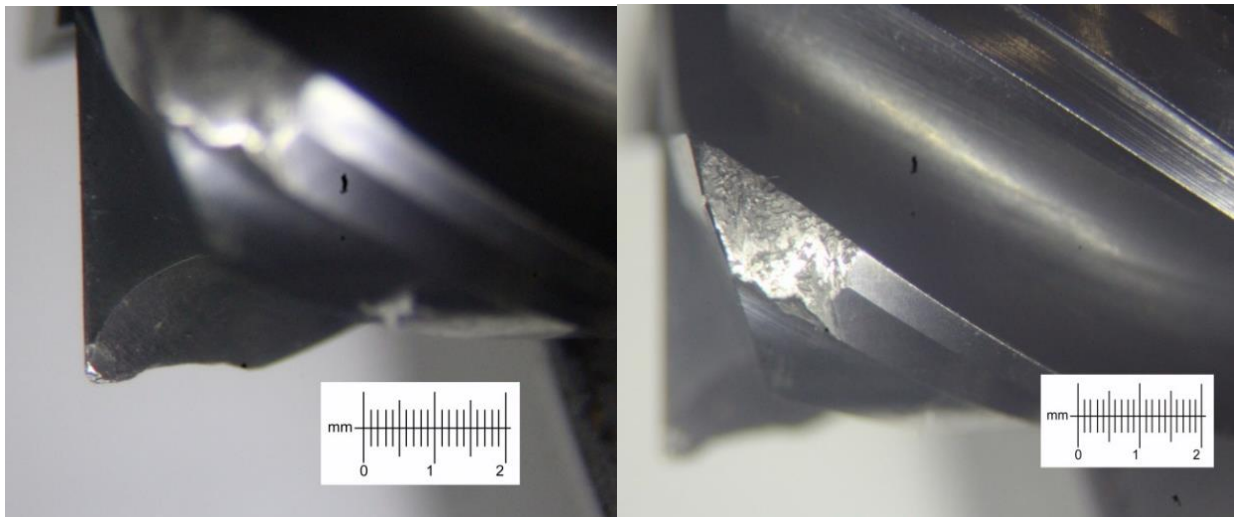


Рис. 1.14. График зависимости изменения сил резания от схемы работы для фрез
1 – фреза №1; 2 фреза №2; 3 фреза №3

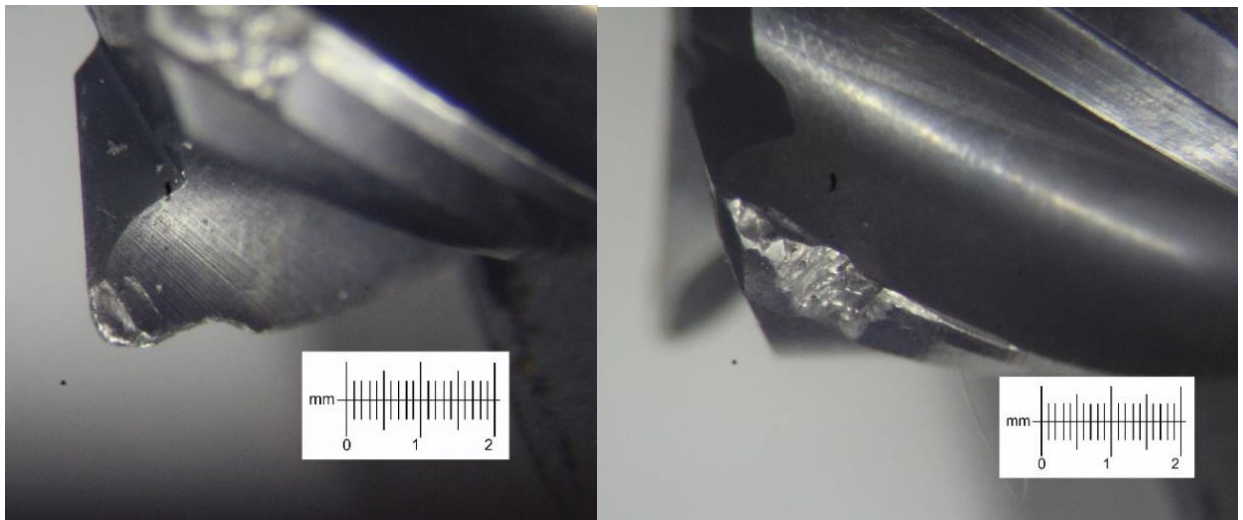
При изучении износа было выявлено, что у фрез практически отсутствует выкрашивание режущих кромок, следовательно, фрезы подверглись механическому истиранию (рис. 1.15-1.17).



(а)

(б)

Рис. 1.15. Фотография износа фрезы №1 с соотношением 1:1 по передней (а) и задней (б) поверхности

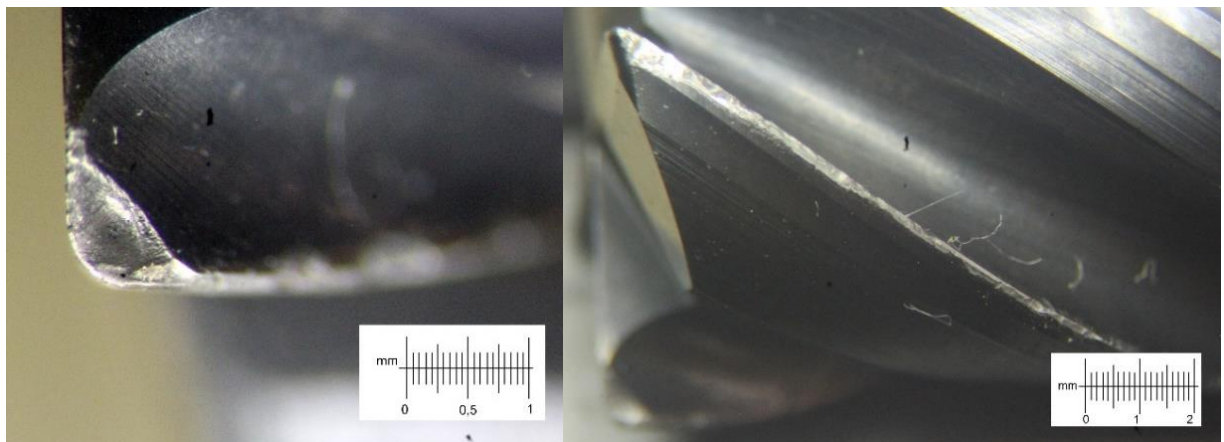


(а)

(б)

Рис. 1.16. Фотография износа фрезы №2 с соотношением 1:4 по передней (а) и задней (б) поверхности

При работе по схеме №3 износ заметно меньше (рис. 13)



(а)

(б)

Рис. 1.17. Фотография износа фрезы №3 с соотношением 1:16 по передней (а) и задней (б) поверхности

Из анализа износа фрез можно сделать вывод, что наиболее эффективная схема фрезерования №3 с соотношением глубины и ширины 1:16. Предполагается, что это связано с меньшим изгибающим моментом, действующим на фрезу во время работы.

Из графиков сил видно, что у всех трех фрез при одинаковом объеме срезаемого слоя до наступления критического износа, значения сил примерно одинаковые. Но точка приложения сил разная (рис. 1.18).

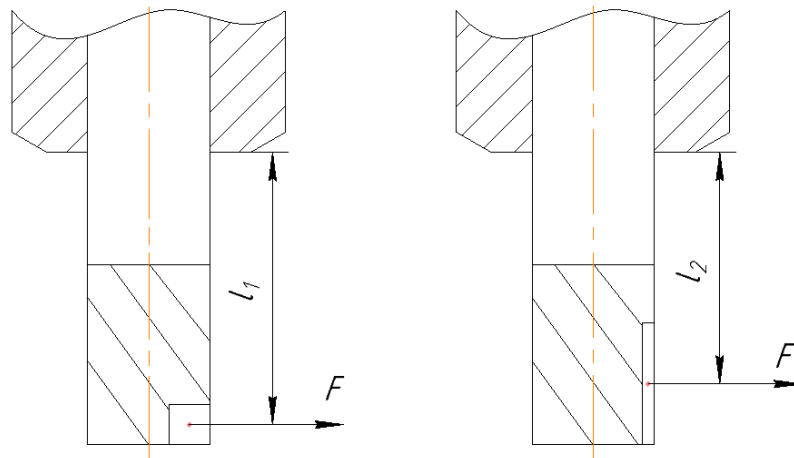


Рис. 1.18. Схема приложения сосредоточенной силы при разных соотношениях глубины и ширины фрезерования

Из схемы видно, что при соотношении глубины и ширины 1:1 плечо сосредоточенной силы $l_1 = 23$ мм больше плеча $l_2 = 20$ мм, при отношении 1:16. Следовательно, изгибающий момент, действующий на первую фрезу больше $l_1 \cdot F > l_2 \cdot F$. Для фрезы №1 изгибающий момент равен $M_1 = 2,75$ Нм, а для фрезы №3 - $M_3 = 2,26$ Нм. Момент первой фрезы почти на 20% больше, чем у третьей. Это приводит к большей амплитуде колебаний и вибрациям фрезы, что увеличивает ее износ.

Другой причиной может являться характер распределения температуры в зоне резания, как говорят авторы [7] при использовании малой ширины и большой глубины фрезерования температура в процессе резания локализуется на небольшом участке инструмента. При использовании большого значения ширины температура распределяется по всей режущей части фрезы, что увеличивает ее износостойкость.

Можно сделать следующие выводы по проделанной работе:

1. Для фрезерования представленного композита могут эффективно использоваться твердосплавные фрезы для обработки жаропрочных сталей и титановых сплавов. С геометрией $\gamma = 4^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\omega = 38^\circ$, $z = 4$.
2. Оптимальной для фрезерования скоростью резания является $V = 25$ м/мин.
3. Оптимальная подача на зуб равна $S_z = 0,04$ мм/зуб.

4. Оптимальной для работы является схема фрезерования, при которой значение глубины фрезерования во много раз больше ширины. Стойкость фрезы работающей при отношении 1:16 при прочих равных режимах почти в 3 раза выше, чем при отношении 1:1 и в 2 раза выше, чем при отношении 1:4.
5. Основной износ идет по задней поверхности зуба фрезы.
6. До наступления критического износа силы резания при разных соотношениях глубины и ширины имеют одинаковые значения.
7. Выбор группы обрабатываемости исследуемого материала можно считать верным. Материал может обрабатываться фрезерованием при корректно выбранных режимах резания.

2. Технологическая часть

Целью данного раздела являлось изучение возможности изготовления турбинной лопатки и турбинного колеса из изучаемого никелевого композита (рис. 2.1 и 2.2). Так как детали имеет сложную форму, а также необходима разработка управляющей программы для их изготовления на станке с ЧПУ, процесс был разделен на два этапа – изготовление деталей из алюминиевого сплава и изготовления из никелевого композита.

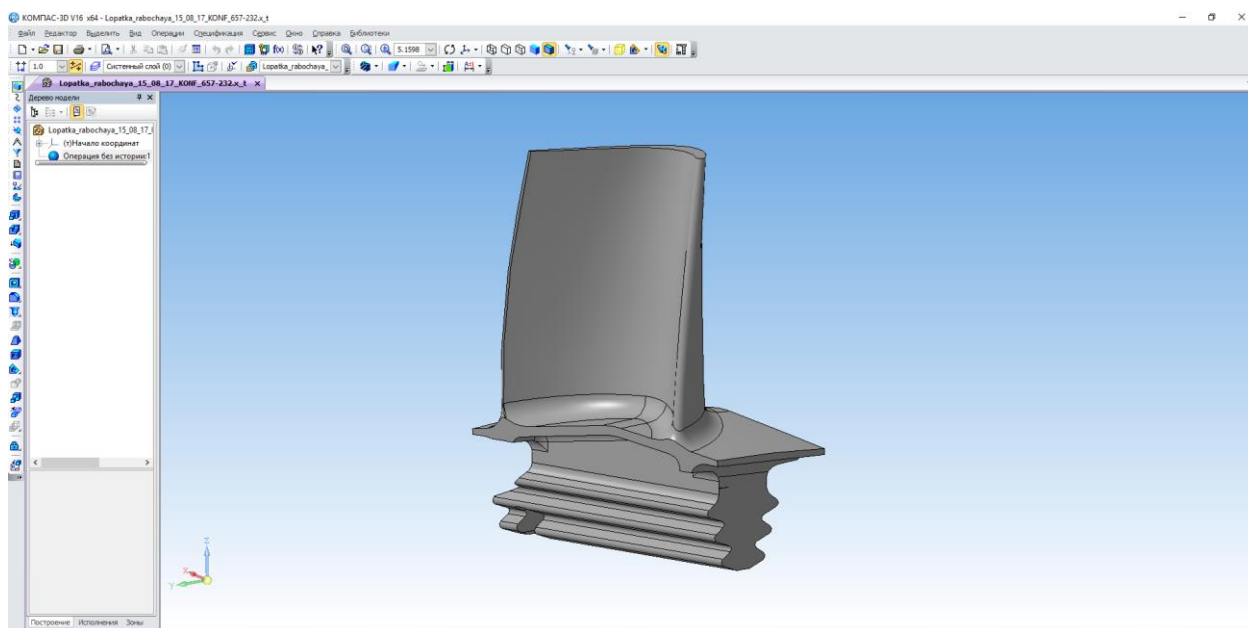


Рис. 2.1. 3d модель турбинной лопатки в КОМПАС-3D

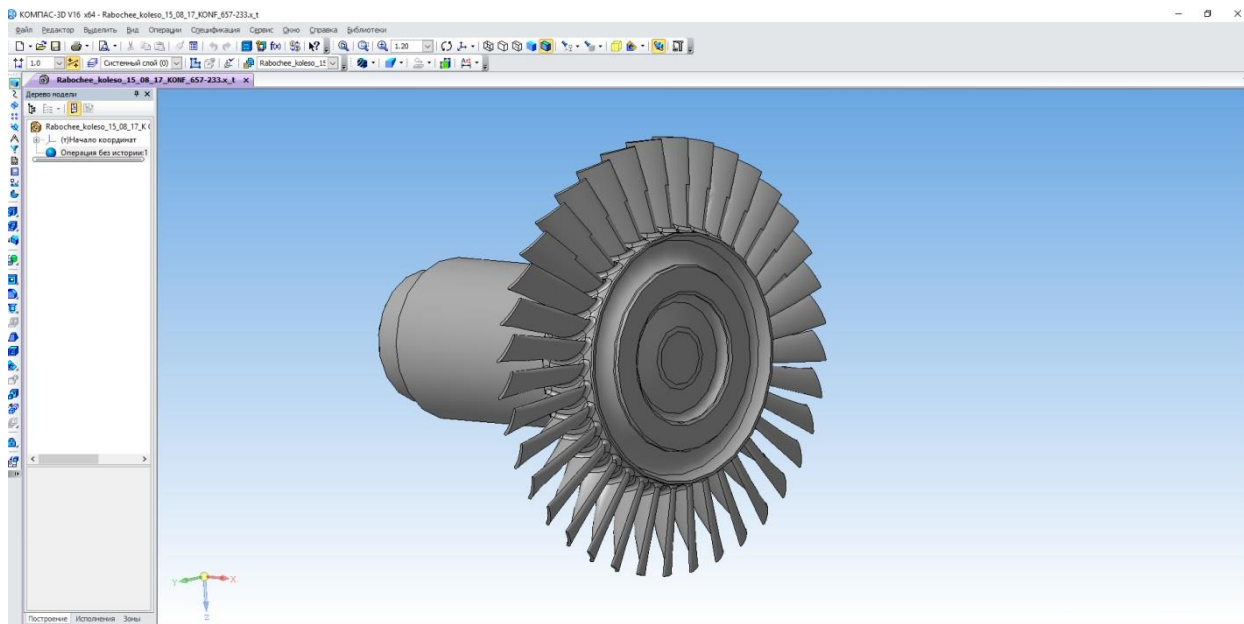


Рис. 2.2. 3d модель турбинного колеса в КОМПАС-3D

2.1. Первый этап

Целью первого этапа являлось изучение возможности изготовления двух изделий колесо и лопатка на пяти-координатном фрезерном обрабатывающем центре DMU 50 на опытных образцах из алюминиевого сплава Д16Т.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- Разработка управляющей программы для изготовления двух изделий: колесо и лопатка.
- Изготовление опытных образцов из алюминиевого сплава Д16Т.
- Определение норм времени на обработку.

2.1.1. Изготовление лопатки

Для разработки управляющей программы изготовления детали на станке с ЧПУ использовалась система SprutCAM. Изготовление 3d модели лопатки проводилось в программе КОМПАС-3D. Изготовление детали производилось на универсальном фрезерном станке DECKEL MAHO DMU 50 (Германия) и проволоочно-вырезном станке P&G Industrial модели DK7725.

Маршрут изготовления лопатки состоит из трех операций: заготовительной, фрезерной и электроэрозионной операции. Маршрут представлен на рисунке 2.3.

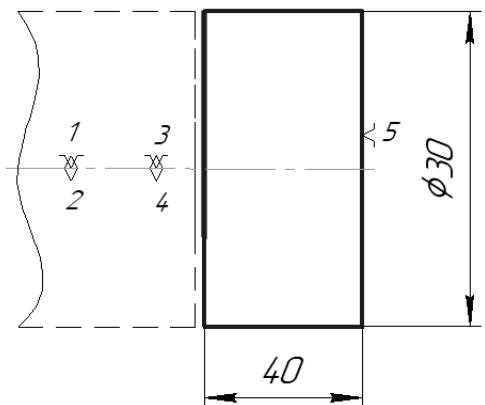
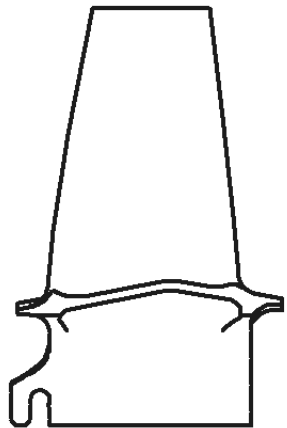
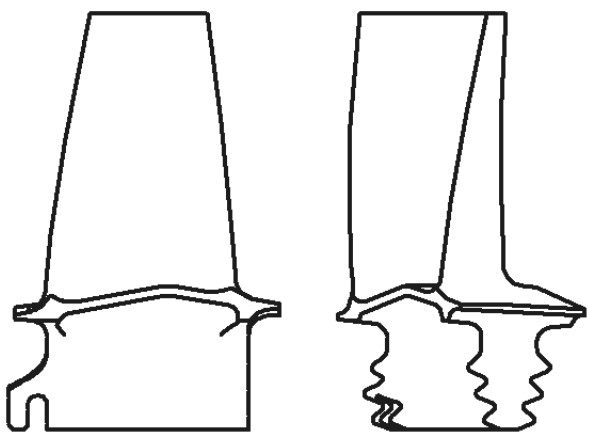
<p><u>0. Заготовительная</u></p> <p>А. Установить и закрепить заготовку</p> <p>1. Отрезать заготовку выдерживая размер 40</p>	
<p><u>1. Фрезерная с ЧПУ</u></p> <p>А. Установить и закрепить заготовку</p> <p>1. Фрезеровать контур лопасти лопатки по 3d модели</p>	
<p><u>2. Электроэрозионная</u></p> <p>А. Установить и закрепить заготовку</p> <p>1. Вырезать профиль хвостовика лопатки по 3d модели</p>	

Рис. 2.3. Маршрут изготовления турбинной лопатки

Для изготовления лопатки использовались твердосплавные концевые фрезы:

- Фреза диаметром $D = 10$ мм - У609-10-22-73-С10 («ПК МИОН», Россия);
- Фреза диаметром $D = 4$ мм У610-4-15-80-С4 («ПК МИОН», Россия);
- Фреза диаметром $D = 5$ мм У610-5-25-80-С5 («ПК МИОН», Россия).
- Копировальная коническая радиусная фреза с $R = 1,5$ мм, ФКРЦ 4180 3x25x75x6 (ТИЗ, Россия).

Полученная лопатка представлена на рисунке 2.4.



Рис. 2.4 Фотография турбинной лопатки из алюминиевого сплава

Время фрезерования лопасти лопатки составило 19 минут, а общее время обработки примерно 2 часа.

2.1.2. Изготовление колеса

Для разработки управляющей программы изготовления детали на станке с ЧПУ использовалась система SprutCAM. Изготовление 3d модели лопатки проводилось в программе КОМПАС-3D. Изготовление детали производилось на универсальном фрезерном станке DECKEL MAHO DMU 50 (Германия).

Маршрут изготовления колеса состоит из трех операций: заготовительной, токарной и фрезерной. Маршрут представлен на рисунке 2.5.

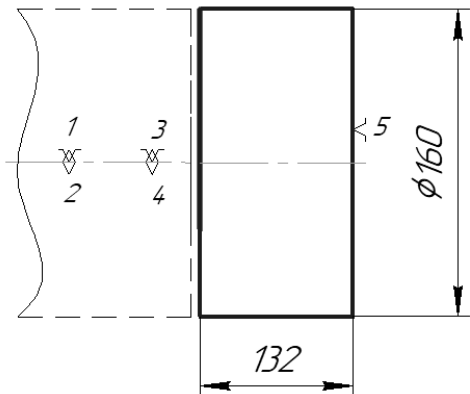
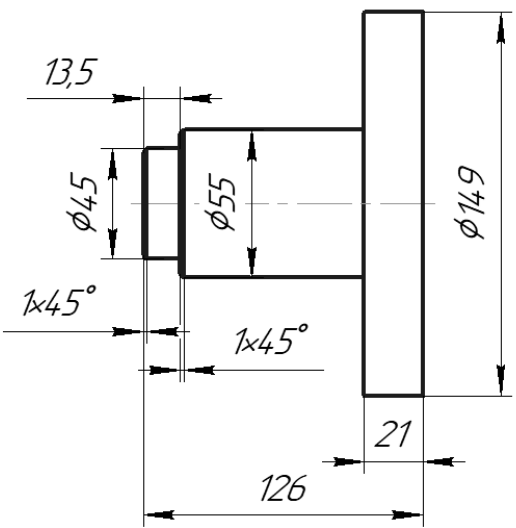
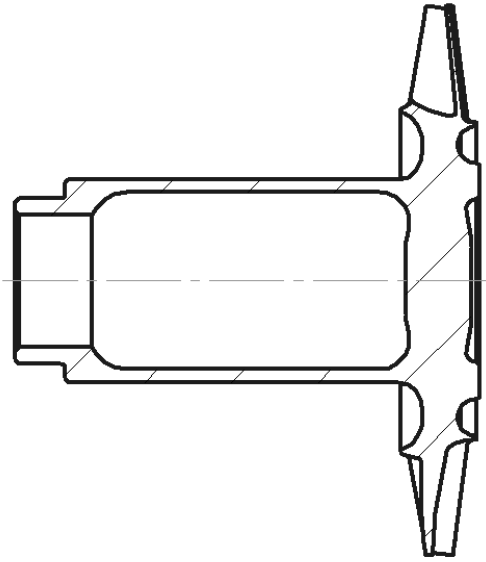
<p><u>0. Заготовительная</u></p> <p>А. Установить и закрепить заготовку</p> <p>1. Отрезать заготовку выдерживая размер 132</p>	
<p><u>1. Токарная</u></p> <p>А. Установить и закрепить заготовку</p> <p>1. Точить заготовку выдерживая размеры указанные на чертеже</p>	
<p><u>2. Фрезерная с ЧПУ</u></p> <p>А. Установить и закрепить заготовку</p> <p>1. Фрезеровать лопасти лопатки колеса по 3d модели</p>	

Рис. 2.5 Маршрут изготовления колеса

Для изготовления колеса использовались твердосплавные концевые фрезы:

- Фреза диаметром $D = 3$ мм У606-3-15-80-С3 («ПК МИОН», Россия);
- Фреза диаметром $D = 5$ мм У610-5-25-80-С5 («ПК МИОН», Россия).
- Копировальная коническая радиусная фреза с $R = 1,25$ мм, ФКРЦ 4177 2,5x20x57x4 (ТИЗ, Россия).

Полученное турбинное колесо представлено на рисунке 2.6.



Рис. 2.6. Фотография колеса турбины

Время фрезерования всех лопастей колеса составило 1380 минут, а общее время изготовления колеса 24,5 часа. Т.е. фрезерование лопастей занимает, примерно 94% от общего времени обработки.

2.1.3. Выводы

- Трудоемкость фрезерования лопасти отдельной лопатки составила 19 мин.
- Трудоемкость фрезерования лопастей лопаток колеса составила 1380 мин, это почти в 72 раза превышает трудоемкость фрезерования одной лопатки. Колесо содержит 37 лопастей, расстояние между ними не позволяет использовать жесткие фрезы, из-за большого вылета фрезы. Трудоемкость фрезерования одной лопасти на колесе почти в 2,7 раза выше, чем фрезерования отдельной лопатки.
- Если руководствоваться данными отчета по первому этапу, то трудоемкость изготовления колеса из никелевого сплава будет примерно 9-12 раз выше чем обработка сплава Д16Т, т.е время обработки составит не менее 207 часов. Также необходимо отметить, что основная сложность в изготовлении турбины из никелевого сплава будет связана не со временем обработки и даже не со стойкостью инструмента, а с его жесткостью.

2.2. Второй этап

2.2.1 Изготовление лопатки

Целью данного этапа являлось изготовление турбинной лопатки из никелевого сплава (рис 1.).

Изготовление детали производилось на универсальном фрезерном станке DECKEL MAHO DMU 50 (Германия). Основываясь на результатах, полученных на первых этапах исследования, были подобраны режимы резания (см. табл. 2.1 и 2.2).

Таблица 2.1. Черновая обработка

V, м/мин	S _m , мм/мин	S _z , мм/зуб	n, мин ⁻¹
31	100	0,025	1000

Для черновой обработки использовалась концевая цельнотвердосплавная фреза ЖТ641, предназначенная для обработки титановых сплавов, с диаметром $d_\phi = 10$ мм (ПК МИОН).

Время обработки составило 60 минут.

Таблица 2.2. Чистовая обработка

V, м/мин	S _m , мм/мин	S _z , мм/зуб	n, мин ⁻¹
25	160	0,02	2650

При чистовой обработке использовалась копировальная коническая радиусная фреза ФКРЦ 4180 3x25x75x6 с R = 1,5 мм (ТИЗ).

Время обработки составило 52 минуты.



Рис. 2.7. Фотография турбинной лопатки

Общее время обработки лопатки составило 112 минут. Для сравнения время обработки по данной программе лопатки из алюминиевого сплава Д16Т составляет 19 минут (при ограничении количества оборотов $n = 10000$ об/мин для данного станка).

За время изготовления одной лопатки обе фрезы получили катастрофический износ (рис 2.8 и 2.9).

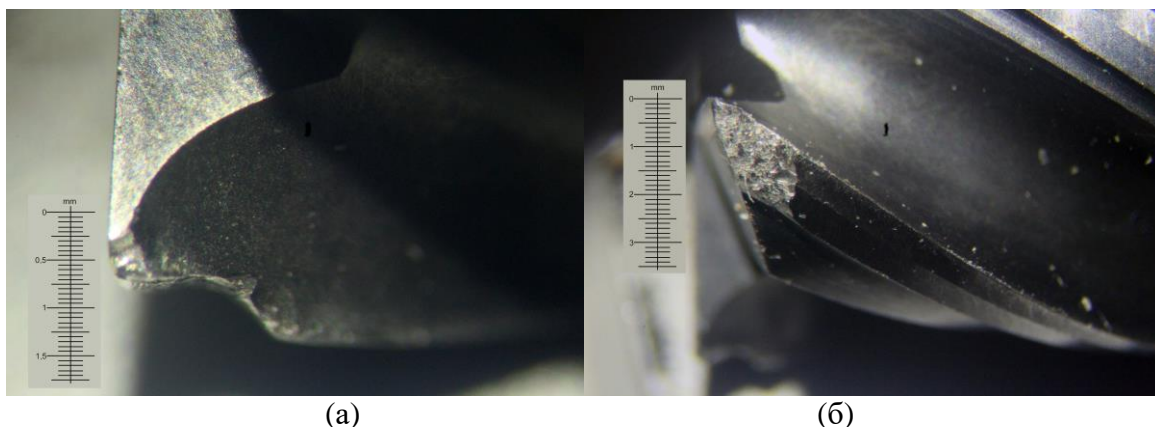


Рис. 2.8. Фотография концевой фрезы. а – фотография передней поверхности зуба фрезы; б - фотография задней поверхности зуба фрезы.

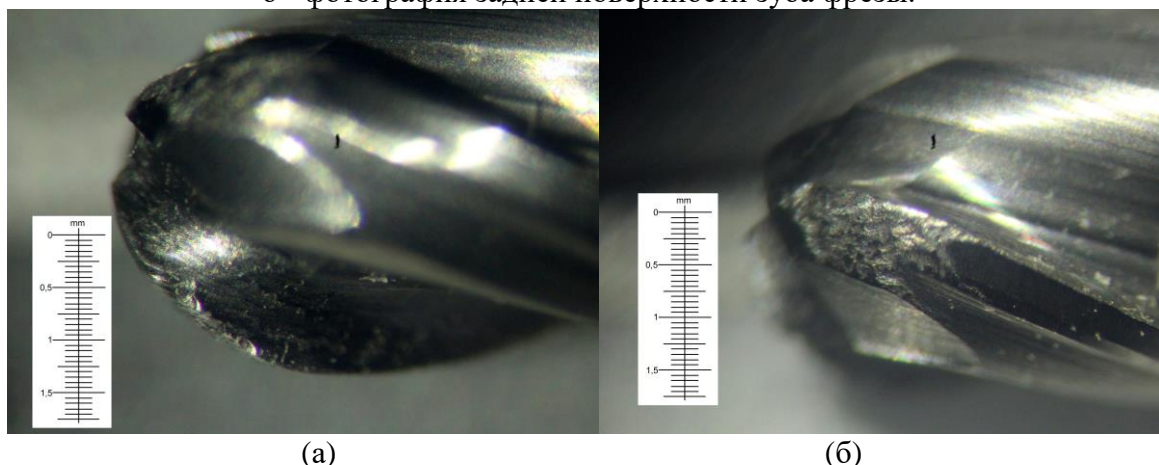


Рис. 2.9. Фотография конической фрезы. а – фотография передней поверхности зуба фрезы; б - фотография задней поверхности зуба фрезы.

2.2.2. Выводы

По результатам проделанной работы можно сделать вывод, что изготовление турбинной лопатки из изучаемого композита является очень трудоемким процессом. Время ее изготовления почти в 6 раз больше, чем изготовления такой лопатки из алюминиевого сплава.

Выявленные в ходе исследования режимы резания подходят для чернового фрезерования.

Исследования по обрабатываемости проводились для стандартной концевой фрезы. Получение турбинной лопатки возможно только с использованием радиусных фрез, процесс работы которых существенно отличается. Для оптимизации режимов резания этих фрез необходимы дальнейшие исследования.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ71	Волков Сергей Юрьевич

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	...
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	...
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	...

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	...
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	...
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	...

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский В. Ю.	К. Э. Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Волков Сергей Юрьевич		

3.1. Организация и планирование работ

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы.

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ. В данном пункте составлен полный перечень проводимых работ по исследованию обрабатываемости фрезерованием композита на основе никеля, полученного на 3d принтере, определены исполнители и рациональная продолжительность.

Перечень работ и продолжительность их выполнения приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1.

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Поиск и анализ литературы по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Планирование экспериментов	НР, И	НР – 100% И – 40%
Подготовка к экспериментам	НР, И, О	НР – 10% И – 100% О – 40%
Проведение предварительных экспериментов	И, оператор станка с ЧПУ	О – 100% И – 100%

Анализ полученных данных	НР, И	НР – 80% И – 100%
Проведение основных экспериментов	И, оператор станка с ЧПУ	О – 100% И – 100%
Анализ полученных данных	НР, И	НР – 80% И – 100%
Вывод по проведенной работе	НР, И	НР – 60% И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

3.2. Продолжительность этапов работ

Определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ:

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5},$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5}$$

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{\text{рД}}$) ведется по формуле:

$$T_{\text{РД}} = \frac{t_{\text{ож}}}{K_{\text{ВН}}} \cdot K_{\text{Д}},$$

где $t_{\text{ож}}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{\text{ВН}}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{\text{ВН}} = 1$;

$K_{\text{Д}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{\text{Д}} = 1\text{--}1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{\text{КД}} = T_{\text{РД}} \cdot T_{\text{К}},$$

где $T_{\text{КД}}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{\text{К}}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$T_{\text{К}} = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}},$$

где $T_{\text{КАЛ}}$ – календарные дни ($T_{\text{КАЛ}} = 365$);

$T_{\text{ВД}}$ – выходные дни ($T_{\text{ВД}} = 52$);

$T_{\text{ПД}}$ – праздничные дни ($T_{\text{ПД}} = 10$).

$$T_{\text{К}} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

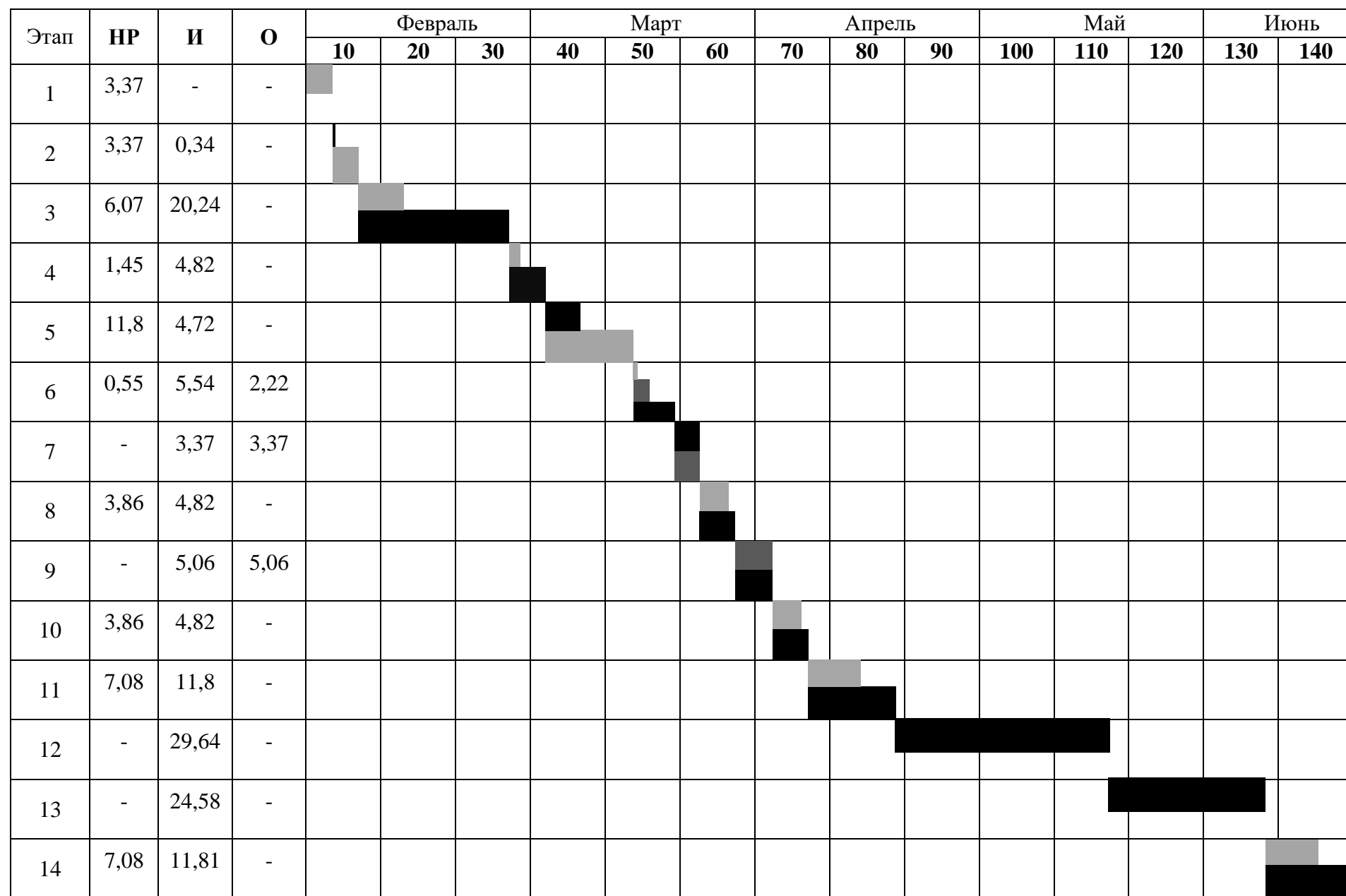
Определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ:

Таблица 2.2

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Труд-сть работ по исполнителям чел.-дн.					
		t _{min}	t _{max}	t _{ож}	Т _{РД}			Т _{КД}		
					НР	И	О	НР	И	О
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	2	4	2,8	2,8	-	-	3,37	-	-
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	2	4	2,8	2,8	0,28	-	3,37	0,34	-
Поиск и анализ литературы по тематике	НР, И	14	21	16,8	5,04	16,8	-	6,07	20,24	-
Обсуждение литературы	НР, И	2	7	4	1,2	4	-	1,45	4,82	-
Планирование экспериментов	НР, И	7	14	9,8	9,8	3,92	-	11,81	4,72	-
Подготовка к экспериментам	НР, И	3	7	4,6	0,46	4,6	1,84	0,55	5,54	2,22
Проведение предварительных экспериментов	И, О	2	4	2,8	-	2,8	2,8	-	3,37	3,37
Анализ полученных данных	НР, И	2	7	4	3,2	4	-	3,86	4,82	-
Проведение основных экспериментов	И, О	3	6	4,2	-	4,2	4,2	-	5,06	5,06
Анализ полученных	НР, И	2	7	4	3,2	4	-	3,86	4,82	-

данных										
Вывод по проведенной работе	НР, И	7	14	9,8	5,88	9,8	-	7,08	11,8	-
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	21	30	24,6	-	24,6	-	-	29,64	-
Оформление графического материала	И	14	30	20,4	-	20,4	-	-	24,58	-
Подведение итогов	НР, И	7	14	9,8	5,88	9,8	-	7,08	11,81	-
Итого:					40,26	109,2	8,84	48,5	131,58	10,65

Таблица 2.3. Линейный график работ



НР - ■ И - ■ О - ■

3.3. Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

3.4. Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими

движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 - 20 %.

Таблица 2.4

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Фреза ЗТ643	2 955	3	8 865
Фреза ЖТ641	2 971	3	8 913
Фреза Н630	3 119	3	9 357
Переточка фрез	-	3	1 380
Бумага для принтера формата А4	190	1 уп.	190
Итого:			27 338

Допустим, что ТЗР составляют 5% от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны

$$C_{\text{мат}} = 27\,338 \cdot 1,05 = 28\,705.$$

3.5. Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{25,083}.$$

Таблица 2.5

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб. день	Затраты времени, раб. дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	33 664	1342,09	41	1,699	93 488,65
И	15 470	616,75	110	1,699	115 264,4
Оператор станка с ЧПУ	26 298	1 048,44	9	1,699	16 031,7
Итого:					224 784,7

3.6. Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е. $C_{\text{соц}} = C_{\text{зп}} \cdot 0,3$.

$$C_{\text{соц}} = 224\,784,7 \cdot 0,3 = 67\,435,4 \text{ руб.}$$

3.7. Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл. об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot \text{Ц}_{\text{э}},$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$\text{Ц}_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $\text{Ц}_{\text{э}} = 5,748 \text{ руб./кВт·час}$ (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 5.2 для инженера/оператора станка ($T_{\text{рд}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} \cdot K_t,$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{рд}}$, определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение $t_{\text{об}}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования. Для станка с ЧПУ во время проведения экспериментов примем $K_t = 0,8$; для микроскопа $K_t = 0,3$.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном.}} \cdot K_c,$$

где $P_{\text{ном.}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_c \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_c = 1$.

Таблица 2.6

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{об}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{об}}$, кВт	Затраты на электроэнергию $C_{\text{эл. об.}}$, руб.
ПК	524,2	1	3 012,8
Обрабатывающий центр с ЧПУ Haas	56,6	22,4	7 287,5
Микроскоп УИМ 21	21,6	0,05	6,2
Итого:			10 306,5

3.8. Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула:

$$C_{\text{ам}} = \frac{H_A \cdot C_{\text{об}} \cdot t_{\text{рф}} \cdot n}{F_D},$$

где H_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{\text{об}}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;

F_D – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку $C_{\text{ам}}$. Например, для ПК в 2019 г. (298 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) можно принять $C_{\text{ам}} = 298 = 298 \cdot 8 = 2384$ часа;

$t_{\text{рф}}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Таблица 2.7

Наименование оборудования	Стоимость $C_{\text{об}}$, руб.	Время работы оборудования $t_{\text{рф}}$, час	H_A	F_D	Амортизационные расходы $C_{\text{ам}}$ =, руб.
ПК	30 000	524,2	0,4	2384	3 100,67
Обработывающий центр с ЧПУ Naas	3 965 139,7 5	56,6	0,1	3576	6 275,9

Микроскоп УИМ 21	755 000	21,6	0,2	400	8 154
Итого:					17 530,6

3.9. Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных)

Сюда относятся:

- командировочные расходы, в т.ч. расходы по оплате суточных, транспортные расходы, компенсация стоимости жилья;
- арендная плата за пользование имуществом;
- оплата услуг связи;
- услуги сторонних организаций.

Норма оплаты суточных – 100 руб./день.

Данные расходы в работе не предусмотрены.

3.10. Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нр}}) \cdot 0,1$$

Для данной работы это:

$$\begin{aligned}
 C_{\text{проч}} &= (27\,338 + 224\,784,7 + 67\,435,4 + 10\,306,5 + 17\,530,6 + 0) \cdot 0,1 \\
 &= 34\,739,52 \text{ руб.}
 \end{aligned}$$

3.11. Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта.

Таблица 2.8.

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	27 338
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	224 784,7
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	67 435,4
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.об}}$	10 306,5
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	17 530,6
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{нр}}$	-
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	34 739,52
Итого:		382 134,72

Таким образом, затраты на исследование составили $C = 382\,134,72$ руб.

3.12. Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может определяться различными способами. Если исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль следует принять в размере 5 - 20% от полной себестоимости проекта. В данной работе она составляет 38 213,47 руб. (10%) от расходов на разработку проекта.

3.13. Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это:

$$\text{НДС} = (382\,134,72 + 38\,213,47) \cdot 0,2 = 84\,069,64 \text{ руб.}$$

3.14. Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$C_{\text{НИР}} = 382\,134,72 + 38\,213,47 + 84\,069,64 = 504\,417,83 \text{ руб.}$$

3.15. Оценка экономической эффективности проекта

Так как композит, исследуемый в данной работе, является новой разработкой, а исследования проведены с целью изучить возможность его механической обработки резанием и дать рекомендации по оптимальным режимам резания, оценить экономическую эффективность проекта становится невозможным. Материал еще не используется для серийного производства лопаток турбинных двигателей, для которых он предназначен, проект находится на этапе исследований.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ71	Волкову Сергею Юрьевичу

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	машиностроение

Тема ВКР:

Исследование технологических возможностей изготовления турбинной лопатки из никелевого сплава, полученного лазерным спеканием

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объектом исследования в данной работе является композит на основе никеля, полученный из порошка методом прямого лазерного спекания. Композит разработан для изготовления турбинных лопаток. В работе проводится исследование обрабатываемости данного материала фрезерованием на станке с ЧПУ.</i>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	1) Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019).
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1) Отклонение показателей микроклимата; 2) Повышенный уровень шума; 3) Повышенный уровень вибраций; 4) Недостаточная освещенность рабочей зоны; 5) Эмоциональные нагрузки; 6) Электробезопасность; 7) Движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся изделия, заготовки и материалы.
3. Экологическая безопасность:	Способы утилизации отходов: 1) Изделий из композита; 2) Металлической стружки; 3) СОЖ.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС на производстве: 1) воздействие низких температур; 2) диверсия; 3) пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова Светлана Владимировна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Волков Сергей Юрьевич		

Введение

В настоящее время аддитивные технологии позволяют получать новые свойства металлических сплавов, за счет изменения структуры материалов. Так исследуемый в работе композит был получен из порошков никеля (Ni) и титана (Ti), в составную структуру которых ввели керамические частицы диборида титана (TiB₂). В итоге авторы [1], предоставившие данный композит для исследования, получили сплав NiTi, с равномерными включениями керамических частиц в металлическую матрицу материала, что позволило получить высокопрочный, жаропрочный, коррозионностойкий композит для изготовления лопаток турбинных двигателей. В процессе изготовления турбинных лопаток основной операцией их механической обработки является фрезерование. Однако рекомендаций по режимам резания для металлов, полученных аддитивными методами из порошков, в литературе недостаточно.

В данной работе проводится исследование обрабатываемости фрезерованием композита NiTi-TiB₂ концевыми фрезами. Данный материал разработан для изготовления турбинных лопаток, поэтому основной операцией для его механической обработки является фрезерование.

Областью применения данного композита является авиационная промышленность, ракетно-космическая промышленность.

Работы проводятся на вертикально-фрезерном обрабатывающем центре с ЧПУ. Целью работы является определение оптимальных режимов резания для фрезерования данного композита.

4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В данной главе рассмотрены специальные правовые нормы трудового законодательства для оператора вертикально-фрезерного обрабатывающего центра с ЧПУ. А также организация рабочего места оператора станка в соответствии с нормами производственной безопасности и охраны окружающей среды.

В соответствии со статьей №21 «Основные права и обязанности работника» трудового кодекса Российской Федерации работник имеет право на:

- заключение, изменение и расторжение трудового договора в порядке и на условиях, которые установлены настоящим Кодексом;
- предоставление ему работы, обусловленной трудовым договором;
- рабочее место, соответствующее государственным нормативным требованиям охраны труда и условиям, предусмотренным коллективным договором;
- своевременную и в полном объеме выплату заработной платы в соответствии со своей квалификацией, сложностью труда, количеством и качеством выполненной работы;
- отдых, обеспечиваемый установлением нормальной продолжительности рабочего времени;
- полную достоверную информацию об условиях труда и требованиях охраны труда на рабочем месте;
- подготовку и дополнительное профессиональное образование в порядке, установленном настоящим Кодексом;
- возмещение вреда, причиненного ему в связи с исполнением трудовых обязанностей, и компенсацию морального вреда в порядке, установленном настоящим Кодексом, иными федеральными законами;
- обязательное социальное страхование в случаях, предусмотренных федеральными законами.
- и др.

В свою очередь работник обязан:

- добросовестно исполнять свои трудовые обязанности, возложенные на него трудовым договором;
- соблюдать правила внутреннего трудового распорядка;
- соблюдать трудовую дисциплину;
- выполнять установленные нормы труда;

- соблюдать требования по охране труда и обеспечению безопасности труда;
- бережно относиться к имуществу работодателя и других работников;
- незамедлительно сообщить работодателю о возникновении ситуации, представляющей угрозу жизни и здоровью людей, сохранности имущества работодателя.

Для рабочих должны проводиться мероприятия по вопросам обеспечения безопасного труда. В систему таких мероприятий должны входить:

- постоянное совершенствование технологических процессов и оборудования с целью устранить и предотвратить возможность появления производственных вредностей;
- переход от ручной работы к механизированной;
- безусловное соблюдение технологических режимов, строгий контроль за их исполнением;
- знание и соблюдение техники безопасности;
- безусловное соблюдение режимов труда и отдыха, правильная организация рабочего места;
- постоянный контроль над состоянием воздушной среды производственных помещений;
- регулярные медицинские осмотры;
- соблюдение требований безопасности труда к освещенности помещения, отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха;
- соблюдение норм допустимой концентрации вредных веществ в воздухе;
- доступ к системе водоснабжения, сан. узлу;
- регламентированные перерывы в работе на обед и на отдых.

4.2. Производственная безопасность

При работе на вертикально-фрезерном обрабатывающем центре с ЧПУ существует ряд вредных и опасных факторов (таблица 1).

Таблица 1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо-тка	Изгото-вление	Эксплу-атация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.
2.Превышение уровня шума	+	+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.
3. Повышенный уровень вибраций	-	+	+	ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования. СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические

				требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
5. Эмоциональные нагрузки	+	+	+	
6. Электробезопасность	+	+	+	ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
7. Движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся изделия, заготовки и материалы	-	+	+	ГОСТ 12.2.009-99 Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

4.3. Анализ выявленных вредных факторов

4.3.1. Отклонение показателей микроклимата

В ходе работы необходимо соблюдать допустимые значения на следующие производственные метеоусловия: влажность воздуха на рабочем месте, температура воздуха, скорость движения воздуха, а так же тепловые излучения. Указанные физические свойства воздуха на рабочем месте оказывают значительное влияние на протекание жизненных процессов в организме человека. Так, при неблагоприятном микроклимате (превышение или же занижение допустимых нормативных показателей указанных в

СанПиН 2.2.4.548 – 96) снижается производительность труда и ухудшается здоровье работника.

Неблагоприятные условия вызывают перенапряжение механизма терморегуляции, что приводит к перегреву или переохлаждению.

Нарушениями механизма терморегуляции являются:

- Повышенная утомляемость
- Снижение его производительности труда;
- Повышенный риск простудных и сердечных заболеваний.

Таким образом, оптимальные значения физических величин для обеспечения комфортного микроклимата составят:

Таблица 2. Нормы микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	I6 (140 – 174)	21 - 23	60 - 40	0,1
Теплый	I6 (140 - 174)	22 - 24	60 - 40	0,1

При температуре воздуха на рабочих местах более 25°С, допустимые величины относительной влажности воздуха не должны превышать пределы (20-80)% относительной влажности.

Для профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия. Например, такие как системы местного кондиционирования воздуха, применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), регламент времени работы и т.д.

К числу СИЗ от неблагоприятных климатических условий относят спецодежду, спецобувь, средства защиты рук, головные уборы.

При проведении экспериментов влажность и температура воздуха в цеху, где установлен станок с ЧПУ, соответствовала нормам. В цеху установлена система вентиляции и система отопления для поддержания необходимых температур в разные времена года.

4.3.2. Повышенный уровень шума

В рабочем помещении должны соблюдаться нормы уровня шума согласно СН2.2.4/2.1.8.562-96.

Источником шума в рассматриваемом рабочем пространстве является вертикально-фрезерный обрабатывающий центр с ЧПУ и другое находящееся в данном цеху оборудование.

Повышенный уровень шума на рабочем месте вызывает у человека головную боль, головокружение, может привести к заболеванию нервной и сердечно-сосудистой системы, к развитию тугоухости, нарушению функций желудочно-кишечного тракта и обменных процессов в организме. В условиях постоянного шума повышается утомляемость, замедляется скорость психических реакций, ухудшается память. Нарушается компенсация внимания, точность и координированность движений, ухудшается восприятие звуковых и световых сигналов опасности, что ведет к увеличению травматизма.

Нормируемыми параметрами шума служат уровни в децибелах (дБ) среднеквадратичных звуковых давлений, измеряемых на линейной характеристике шумомера (или шкале С) в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. Для ориентировочной оценки шума разрешается измерять его общий уровень по шкале А шумомера в дБА. Допустимые нормы шума при проведении всех работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий 80 дБА (согласно ГОСТ 12.1.003– 2014).

Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности представлены в ГОСТ 12.1.003– 2014.

Если уровень шума на работе превышает 70-80 дБ необходимо использовать индивидуальные средства защиты (беруши, специальные наушники).

4.3.3. Повышенный уровень вибраций

В процессе обработки деталей, если режущий инструмент выставлен неправильно, а также, если станок не имеет крепкого фундамента под собой, или не установлен на виброопорах, могут возникать вибрации.

Основная цель нормирования вибрации на рабочих местах — это установление допустимых значений характеристик вибрации, которые при ежедневном систематическом воздействии в течение всего рабочего дня и многих лет не могут вызвать существенных заболеваний организма человека и не мешают его нормальной трудовой деятельности.

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека, что проявляется в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений. Все это ведет к снижению производительности труда. Изменения в физиологическом состоянии организма — в развитии нервных заболеваний, нарушении функций сердечно-сосудистой системы, нарушении функций опорно-двигательного аппарата, поражении мышечных тканей и суставов, нарушении функций органов внутренней секреции. Все это приводит к возникновению вибрационной болезни.

Основным документом, регламентирующим уровень вибрации на рабочих местах, является СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий». В этом документе приведены предельно допустимые значения колебательной скорости, колебательного ускорения и их уровней в октавных и третьоктавных полосах частот для локальной и общей вибрации в зависимости от источника возникновения, направления действия.

Коллективная виброзащита включает в себя простые и составные средства виброизоляции и виброгашения: установку вибрирующего оборудования на массивный фундамент, применение демпфирующего

покрытия и виброизоляторов, применение гибких вставок в воздуховодных коммуникациях.

Вертикально-фрезерный обрабатывающий центр с ЧПУ Haas VF-1 установлен на пол цеха, который лежит на бетонном фундаменте, следовательно, не подвергается сильному воздействию вибрация в процессе работы. Также в данном цеху нет машинами ударного действия (молоты, прессы) и машин, вызывающих сильные вибрации (крупные вентиляторы, точила и т.п.).

Коллективные виды средств защиты от вибрации считаются предпочтительными, в то время как средства индивидуальной защиты применяются в качестве вспомогательных. К ним относятся: виброзащитные обувь, перчатки со специальными упруго-демпфирующими элементами, поглощающими вибрацию.

В процессе проведения экспериментов при определенных режимах резания станок был подвержен сильным вибрациям, которые при длительном воздействии могут быть опасны для здоровья человека. При работе на рекомендуемых по окончании исследования режимах, а также рекомендуемых инструментах вибрации в процессе работы не наблюдались.

4.3.4. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Искусственное освещение должно обеспечивать в помещении освещенность, позволяющую выполнять операции, наладку оборудования без производственных дефектов и травматизма, возникающих по причине недостаточной освещенности. При работе в таких условиях сначала происходит перенапряжение глаз, которое впоследствии может вызвать ухудшение зрения. В этом случае требуется привлечение дополнительных источников света, в частности настольных ламп.

В цеху, помимо искусственных источников света, установлены большие окна по всему периметру помещения.

Нормы освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях устанавливают в зависимости от характеристики зрительной работы и представлены в таблице 3.

Таблица 3. Нормы освещения

Разряды работы	Характер работ, выполняемых в помещении		Нормы к.е.о. в %	
	Виды работ, по степени точности	Размер объекта, мм	при верхнем и комбинированном освещении	при боковом освещении
I	Особо точные работы	0,1 и менее	10	3,5
II	Работы высокой точности	Более 0,1 до 0,3	7	2
III	Точные работы	Более 0,3 до 1	5	1,5
IV	Работы малой точности	Более 1 до 10	3	1
V	Грубые работы	Более 10	2	0,5
VI	Работы, требующие общего наблюдения за ходом производственного процесса	-	1	0,25

Для вечернего освещения, помимо потолочных ламп, рабочее место должно быть оборудовано дополнительным источником света. В вечернее время в лабораториях обязательно общее искусственное рабочее освещение, причем расположение светильников должно быть равномерным. Недостаточная освещенность рабочего места не только уменьшает остроту зрения, но и вызывает утомление организма в целом, что приводит к снижению производительности труда и увеличению опасности заболеваний человека.

4.3.5. Эмоциональные нагрузки

Эмоциональные нагрузки определяются тремя параметрами:

- степенью ответственности за результат собственной деятельности;
- степенью риска для собственной жизни;
- ответственностью за безопасность других лиц.

Степень ответственности за результат собственной деятельности, значимость ошибки указывает, в какой мере работник может влиять на результат собственного труда при различных уровнях сложности

осуществляемой деятельности. С возрастанием сложности повышается степень ответственности, поскольку ошибочные действия приводят к дополнительным усилиям со стороны работника или целого коллектива, что соответственно приводит к увеличению эмоционального напряжения.

По данному показателю оценивается ответственность работника за качество элементов заданий вспомогательных работ, основной работы или конечной продукции. Например, для оператора станка с ЧПУ конечной продукцией являются изготовленные им детали, для мастера токарного участка - все детали, изготовленные на этом участке, а для начальника механического цеха - работа всего цеха.

Степенью риска для собственной жизни и ответственностью за безопасность других лиц в случае с оператором станка с ЧПУ можно пренебречь, так как станки подобного рода жёстко ограничены в функциональности при наличии неисправности станка. Обработка деталей не начнётся до тех пор, пока не будет закрыта защитная дверь, которая и будет являться гарантом собственной безопасности и безопасности окружающих.

4.3.6. Электробезопасность

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Цех, в котором находится обрабатывающий центр, относится к II классу электроопасности, т.е. помещению с повышенной опасностью, которая характеризуется наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к

металлическим корпусам электрооборудования – с другой. Вертикально-фрезерный обрабатывающий центр с ЧПУ Haas VF-1 работает в сети с напряжением 380 В.

В цехе, в котором проводились работы, применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте. Станки и оборудование оснащены заземлителями. Защитное заземление или зануление обеспечивает защиту людей от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции.

А так же должно быть соблюдено безопасное напряжение и безопасная величина тока для человека. $U=36$ В, $I=0,1$ А.

Средствами индивидуальной защиты от поражения электрическим током являются инструменты с ручками из изолирующего материала, специальные перчатки и обувь, а также дорожки и коврики.

4.3.7. Движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся изделия, заготовки и материалы

Согласно ГОСТ 12.2.003-91 конструкция производственного оборудования должна исключать падение или выбрасывание предметов (например, инструмента, заготовок, обработанных деталей, стружки), представляющих опасность для работающих, а также выбросов смазывающих, охлаждающих и других рабочих жидкостей.

Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним

работающего или использованы другие средства (например, двуручное управление), предотвращающие травмирование.

Если функциональное назначение движущихся частей, представляющих опасность, не допускает использование ограждений или других средств, исключающих возможность прикасания работающих к движущимся частям, то конструкция должна предусматривать сигнализацию, предупреждающую о пуске оборудования, а также использование сигнальных цветов и знаков безопасности.

В непосредственной близости от движущихся частей, находящихся вне поля видимости оператора, должны быть установлены органы управления аварийным остановом (торможением), если в опасной зоне, создаваемой движущимися частями, могут находиться работающие.

Станки, выполнение вспомогательных операций на которых (установка и снятие обрабатываемой заготовки, измерение и т.п.) при вращении обрабатываемой заготовки или инструмента может привести к опасной ситуации, должны быть оборудованы устройствами, выполняющими автоматическое торможение шпинделя после отключения его привода.

Работа на обрабатывающем центре Naas VF-1 производится внутри кабины, оснащенной защитным стеклом. Заготовка, зажимные устройства и режущие инструменты находятся за стеклом и не представляют опасности для оператора, так как станок может быть запущен только при закрытии защитных устройств. На панели управления предусмотрена кнопка аварийного выключения станка в случае возникновения опасности.

4.4. Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через как можно более полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. С развитием промышленности вред, который может быть нанесён окружающей среде,

увеличивается, поэтому задача по охране окружающей среды должна быть приоритетна для всех, без исключения, компаний.

При написании данной выпускной квалификационной работы не было использовано токсичных и радиоактивных материалов, а также материалов, подлежащим особым условиям утилизации. Однако, с целью рационализации использования природных ресурсов (металл, СОЖ), рекомендуется:

1. Смазочно-охлаждающую жидкость фильтровать и вернуть в цикл, металлический порошок собрать магнитным приспособлением и вывезти на предприятия для дальнейшей переработки или утилизации.

2. Стружку собрать и сдать на металлолом.

Так как объектом исследования в данной работе является композит на основе никеля, то становится необходимым рассмотреть способы утилизации никелевых отходов. Сложность использования отходов никелевых сплавов обуславливается специфическими свойствами никеля и, прежде всего его высокой твердостью, теплопроводностью и коррозионной стойкостью.

Существуют 4 группы переработки и внедрения в сферу производства отходов никеля:

- использование отходов для производства никельсодержащих материалов;
- рафинирование отходов для получения качественного металла;
- переработка отходов методами порошковой металлургии;
- использование отходов для выплавки слитков.

Основным и наиболее экономичным способом переработки никелевых отходов является использование их в шихте при выплавке серийных и специальных сплавов. Увеличение доли внедренных отходов при плавке слитков является одним из путей уменьшения цены металла, а также увеличение коэффициента его использования.

4.5. Защита в чрезвычайных ситуациях (ЧС)

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют. Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы, диверсия и пожар.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные газовые обогреватели с катализаторами. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. В случае обрыва линий электропередач должны быть предусмотрены электрогенераторы, которые и будем использовать для электрообогревателей и другого вида оборудования. Нужно иметь запасы воды для сотрудников и для технических нужд. Заключить договоры с транспортными компаниями, что переложит ответственность в случае ЧС на них.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще. Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности. Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве.

Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности

являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия.

Пожарная профилактика – комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожара. Успех борьбы с пожаром во многом зависит от его своевременного обнаружения и быстрого принятия мер по его ограничению и ликвидации.

Помещение, в котором осуществляется процесс изготовления изделия, по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории Д: негорючие вещества и материалы находятся в холодном состоянии.

Тем не менее, никогда не стоит забывать об опасности возникновения пожара. Среди организационных и технических мероприятий, осуществляемых для устранения возможности пожара, выделяют следующие меры:

- использование только исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- назначение ответственного за пожарную безопасность помещения;
- отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- курение в строго отведенном месте;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

В помещении необходимо иметь 2 огнетушителя марки ОП-5, исходя из размеров помещения, а также силовой щит, который позволяет мгновенно обесточить помещение. Огнетушители должны всегда содержаться в исправном состоянии, периодически осматриваться, проверяться и своевременно перезаряжаться. Желательно помещать на стенах инструкции по пожарной безопасности и план эвакуации в случае пожара. В случаях, когда не удастся ликвидировать пожар самостоятельно, необходимо вызвать

пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь разработанным и вывешенным планом эвакуации.

4.6. Заключение

В данной работе были рассмотрены правовые нормы трудового законодательства для оператора станка с ЧПУ, указаны опасные и вредные производственные факторы для работы на данном станке и цеха, в котором он установлен, а также методы борьбы с ними. Рассмотрены проблемы экологической безопасности и безопасности в чрезвычайных ситуациях.

Во время проведения экспериментов по определению обрабатываемости исследуемого материала все вышеуказанные факторы были соблюдены. Цех был оборудован всеми необходимыми средствами противопожарной защиты, электробезопасности, средствами против других ЧС. Оператор станка проинструктирован о наличии опасных производственных факторов и имеет все необходимые средства и условия для защиты от них.

В целях защиты окружающей среды смазочно-охлаждающая жидкость, используемая в станке, а также металлическая стружка сдается на переработку.

Список используемых источников и литературы

1. Promakhov V. et al. Inconel 625/TiB2 Metal Matrix Composites by Direct Laser Deposition //Metals. – 2019. – Т. 9. – №. 2. – С. 141.
2. Баранчиков В. И., Тарапанов А. С., Харламов Г. А. Обработка специальных материалов в машиностроении: Справочник. Библиотека технолога. – М.: Машиностроение, 2002. 264 с.: ил.
3. Chawla N., Shen Y. L. Mechanical behavior of particle reinforced metal matrix composites //Advanced engineering materials. – 2001. – Т. 3. – №. 6. – С. 357-370.
4. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с., ил.
5. Масленков С. Б. Жаропрочные стали и сплавы. Справочное издание. М.: Металлургия, 1983. 192 с.
6. НЕМ Guidebook [Электронный ресурс]: электронное руководство на сайте, 2017. – URL: <https://www.harveyperformance.com/in-the-loupe/hem-guidebook-download/> (дата обращения: 07.05.2019).
7. Zhang B. et al. Microhardness and microstructure evolution of TiB2 reinforced Inconel 625/TiB2 composite produced by selective laser melting //Optics & Laser Technology. – 2016. – Т. 80. – С. 186-195.
8. High-efficiency milling speed changes rules [Электронный ресурс]: статья на сайте, 2018. – URL: <https://www.canadianmetalworking.com/article/cuttingtools/high-efficiency-milling-speed-changes-rules> (дата обращения: 07.05.2019).
9. Optimize Cutting Efficiency, Optimize Throughput [Электронный ресурс]: статья на сайте, 2005 – URL: <https://www.mmsonline.com/articles/optimize-cutting-efficiency-optimize-throughput> (дата обращения: 07.05.2019).
10. High Speed Machining Vs. НЕМ [Электронный ресурс]: статья на сайте, 2017 - URL: <https://www.harveyperformance.com/in-the-loupe/high->

07.05.2019).

11. Sandvik Coromant - Технология обработки металлов резанием: учебное пособие. Изд-во Sandvik Coromant: 2009 г. - 359 с.
12. Пашков Е.Н. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистра, специалиста и бакалавра всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ/Сост. Е.Н. Пашков, И.Л. Мезенцева – Томск: Изд-во Томского политехнического универ-та, 2019. – 24 с.
13. Е.Н. Пашков, И. Л. Мезенцева. Социальная ответственность: методические ук-ния по разработке раздела «Социальная ответственность» ВКР магистра ТПУ, изд-во ТПУ 2019.
14. Белов, Сергей Викторович. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность) : учебник для академического бакалавриата / С. В. Белов. - 5-е изд., перераб. и доп.. - Москва: Юрайт ИД Юрайт, 2015. - 703 с. Ссылка на электронный каталог НТБ ТПУ.
15. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019).
16. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
17. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
18. СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.
19. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
20. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
21. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.

- 22.СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.
- 23.ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования.
- 24.СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
- 25.СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
- 26.СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
- 27.ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 28.ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
- 29.ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
- 30.Требования к безопасности регламентированы ТОО Р-15-050-97. Общие технические условия ГОСТ 7599-82.

Приложение А

The study of the technological capabilities of manufacturing turbine blades of nickel alloy obtained by laser sintering

- *Introduction;*
- *Literature review*
- *Experimental methods*

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Волков Сергей Юрьевич		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Арляпов А.Ю.	К.Т.Н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ажель Ю.П.,			

Introduction

Currently, metal alloys and composites obtained using additive technologies, such as laser sintering of powder on a 3d printer are becoming more common. Such materials can have higher parameters of strength, hardness, wear resistance compared with conventional alloys. So far, about 29 metals and alloys are produced in the form of powders including stainless and tool steels, aluminum alloys, and heat-resistant steels [5]. The creation of powder materials makes it possible to obtain new properties of alloys by changing the structure of the material in a certain way.

This article describes a composite based on NiTi with the introduction of ceramic particles of titanium diboride (TiB_2) into its matrix. It was developed for manufacturing the turbine blades. The blades and vanes of gas turbines operate at high temperatures and loads. Steels used for manufacturing the turbine engine parts should have the following properties: high strength, high toughness, heat resistance, corrosion resistance, etc. Nowadays, for the manufacture of turbine blades such steels, as CrNi35WTiAl, CrNi55WMoTiCoAl, CrNi62MoWCoAlA, CrNi67MoWTiAlA, CrNi70MoWTiAlNb, CrNi75WMoAl, CrNi80TiNbAl, and CrNi52CoWMoTiAlNb are used [1]. It should be noted that the main component of these alloys is Ni.

However, the characteristics of these alloys today do not meet all the requirements specified above. It becomes necessary to create new materials with a modified structure. To solve these problems, alloys and composites of metals are produced using additive technologies. Composites obtained using additive technologies often have an uneven distribution of added particles inside the metal matrix, which significantly reduces their physical and mechanical properties [4].

In order to solve this problem, the authors of [5] used the method for obtaining composite particles based on the self-propagating high-temperature synthesis (SHS). The peculiarity of the obtained powders is that the composite structure of the powders is formed in the reaction mixture during the synthesis stage, not by

mechanical mixing. As a result, the composite structure of the powders includes a metal matrix with uniform inclusions of ceramic particles (Fig. 1). As starting materials for synthesis of ceramic metal composites Ni powder, Ti powder and high-purity amorphous boron powders were used in [5]. The initial mixture was bended in the proportion of 63.5 wt% Ni-B + 36.5 wt% Ti. To obtain homogeneous mixtures, the powders were mixed in a planetary ball mill.

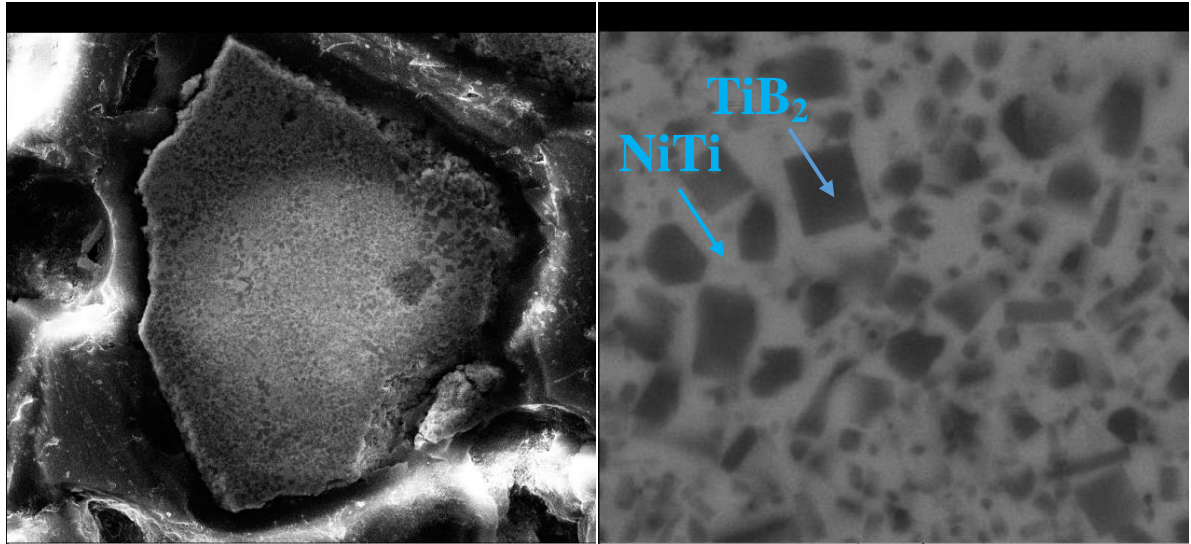
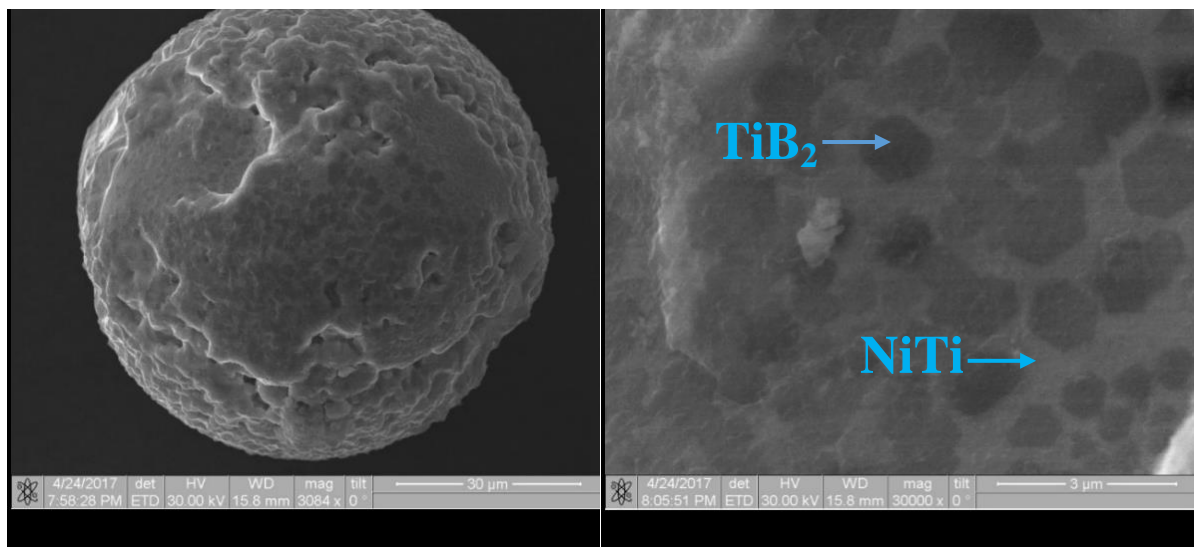


Fig. 1. Composition structure of NiTi-TiB₂ powders obtained using SHS technology.

After SHS, the samples had the shape of cylindrical cakes, from which, after several grinding stages in a planetary ball mill, powder was obtained. Then, using a plasmatron, the spheroidization was done, i.e. plasma treatment of the powder in order to obtain a composition consisting of spherical powder particles necessary for the direct laser preposition process (Fig. 2).



(a)

(6)

Fig. 2. Structure of the ceramic metal composite NiTi-TiB₂ powders after plasma spheroidization: (a) particle image in powder system NiTi-TiB₂ and (b) image of the microstructure of the powder particle system NiTi-TiB₂.

From the powders got by the laser sintering method, which is described above, the samples in the form of bars were obtained. The chemical composition and some physical and mechanical properties of the obtained bars are presented below.

Table 1.

Physical and mechanical properties	Value
Density, MPa	8,3
Compressive strength, MPa	1830
Ultimate tensile strength, MPa	860
Flexural strength, MPa	1320
Compression yield strength, MPa	990 - 1090
Tensile yield strength, MPa	110 - 160
Elastic modulus, GPa	290 - 330
Poisson's ratio	0,29
Heat conductivity coefficient, W/m · K	12,5 - 13,6
Coefficient of linear thermal expansion, K ⁻¹	11,3 - 12,4·10 ⁻⁶
The relative deformation of the sample under compression	0,32
The relative deformation of the sample under tension	0,11
Hardness (HV), HRC	44 - 46

The composite obtained as described above has increased wear and heat resistance. It is new, so its machinability has not been studied yet. Since this material is designed for the manufacture of turbine blades, the main operation for its machining is milling. This paper presents a study of the machinability by

milling of the composite NiTi-TiB₂ obtained by sintering of the powder on the 3d printer.

For this study, the laboratory provided billets in the form of two bars 172x100x32 mm.

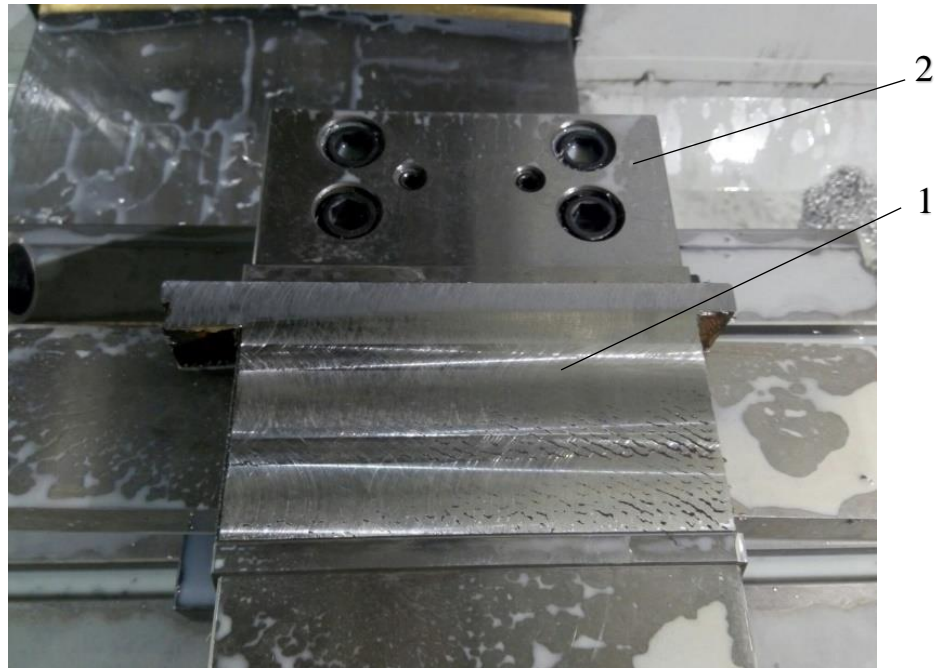


Fig. 1.1. A photo of a nickel alloy blank mounted in a vice on a milling machine. 1 - preparation;
2 - vice

Literature analysis

The term machinability refers to the property of metals to be treated by cutting. According to [2], the main indicators for machinability assessment are: cutting forces, the quality of the surface layer, tool wear; heat released during the deformation of the cut layer material, the presence or absence of the tendency to build-up, as well as the type, shape and size of the cut chips. Depending on these characteristics, all the materials can be divided into eight groups [1].

Considering the chemical composition of the studied material, according to the recommendations given in the reference book [1], NiTi-TiB₂ alloy should be classified as the IV-V group of workability. These groups include heat-resistant, acid-resistant steels, nickel and iron-nickel alloys. These groups, in comparison with steel 45, have a very low machinability with the coefficient from 0.16-0.08 (for steel 45 this coefficient is 1).

The peculiarity of the studied composite is that it contains a large amount of titanium diboride TiB_2 (about 18%); it is a solid compound, a strong abrasive, which significantly affects the durability of the cutting tool. It should also be noted that this is a new material and its machinability has not been previously under study.

According to the reference book [3], while machining of the heat-resistant nickel alloys by milling, it is recommended to use a hard-alloy tool, process at low cutting speeds of about 15-20 m / min with a feed per tooth of 0.02 mm / tooth. There are no recommendations for metals obtained from powders using additive methods.

Also, there are no recommendations for choosing the optimal ratio of depth and width of milling. The foreign literature describes the method for high-performance milling (HEM). This method is designed for rough processing of the metals using a shallow milling depth (t) and a large milling width (B).

Traditional milling, in which a large value of t and a small width of B are commonly used, causes a concentration of heat in one small part of the cutting tool accelerating the wear process. The use of the entire available length of the cutting part of the cutter allows distributing the wear over a larger area extending the service life of the tool and dissipating heat and reducing the probability of breakage of the cutters. HEM involves the use of 7-30% of the cutter diameter in the radial direction and double diameter of the cutter in the axial direction in combination with an increased feed rate [7].

Based on the analysis of the literature it can be concluded that the study of the machinability of the nickel-based composite has not been studied and the work is relevant.

The main objectives of this work are:

1. The selection of the end mill with the most optimal geometrical parameters from the conditions of wear resistance;
2. Determination of the optimal cutting speed;

3. Determination of the optimal value of feed per tooth;
4. Determination of the optimal ratio of depth and width of milling, based on the conditions of minimum tool wear and minimum cutting forces that occur during processing.

Experimental methods

All the work was performed on a vertical milling CNC machining center of the VF1 model, Haas (USA).

The cutters were fixed in a collet chuck with the same reach, the value of which was 24 ± 0.5 mm, on the machine.

In the course of the experiment, grooves were machined with each cutter (Fig. 3), while the milling depth t was always equal to the cutter diameter. Cutting modes were changed in the ranges: $V = 15 - 20$ m / min; $S_z = 0.02 - 0.06$ mm / tooth; $B = 1 - 3$ mm. At the same time, for the qualitative and quantitative evaluation of the experiment results, the wear of the cutters and the cutting force were measured.



Fig. 1. CNC vertical milling machining center Haas VF-1

To perform the first task, solid carbide end mill cutters of $\varnothing 10$ mm manufactured by PC MION (Russia) were used as a tool. For the experiment three end mills with different geometry were selected:

- Milling cutter 3T643, designed for treating hardened steel with hardness over 60 HRC; front angle $\gamma = -7^\circ$, posterior angle $\alpha = 9^\circ$, screw-groove angle $\omega = 45^\circ$, number of teeth $z = 6$.

- ZhT641 milling cutter is designed for machining titanium alloys; $\gamma = 4^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\omega = 38^\circ$, $z = 4$.

- H630 milling cutter is designed for machining stainless alloys; $\gamma = 12^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\omega = 38^\circ$, $z = 4$.

The scheme of the associated milling was chosen due to its greatest resistance of the cutter. While milling according to this scheme, the cutter's tooth immediately begins to cut off the layer of maximum thickness and is subjected to maximum load. This eliminates the initial slippage of the tooth, reduces the wear of the cutter and the roughness of the treated surface. The force acting on the workpiece, presses it to the table of the machine reducing vibration.

When counter milling, the load on the cutter's tooth increases from zero to maximum, while the force acting on the workpiece tends to tear it away from the table, which leads to vibrations and an increase in the roughness of the machined surface.

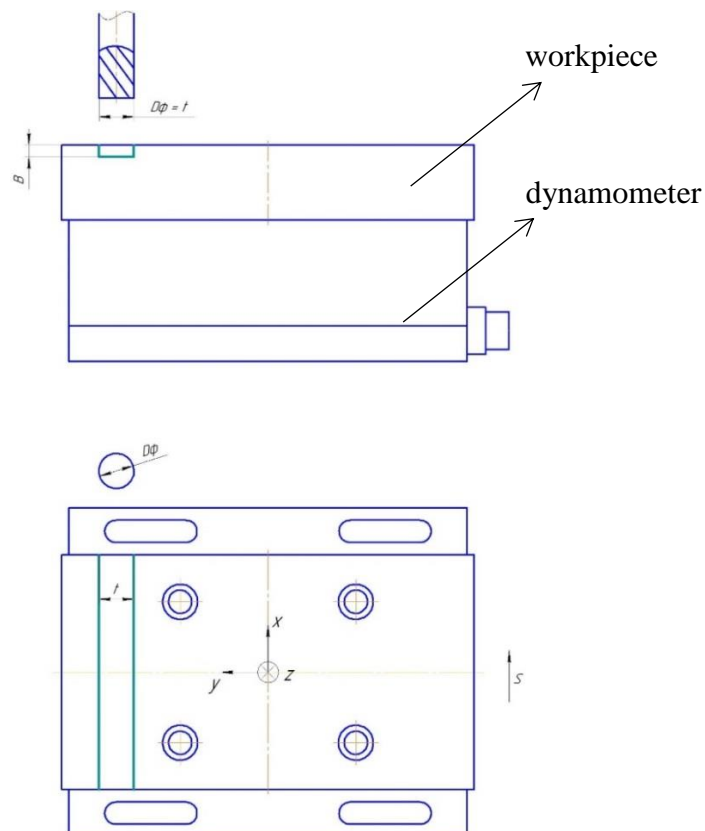


Fig. 3. Processing Scheme

Tool wear was evaluated by facet wear on the back surface. The wear facet was measured using a Universal Measuring Microscope 21 (Fig. 4). The measurement was performed with each tooth of the cutter, while at the wear facet two parameters were determined: the maximum value, which was always near the top of the tooth and the average wear value, which had a fairly stable value.



Fig. 4. Universal Measuring Microscope 21

Cutting forces were determined using the Kistler 9257B dynamometer (Switzerland). The record of the forces was made during the whole time of milling. The measurements were carried out in three mutually perpendicular directions (Fig. 5). To evaluate the results, the total force acting in the plane of the dynamometer was used: $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$.

The dynamometer mounted on a special plate, was fixed in the machine vise. A billet in the form of the bar was attached to it with the help of four screws (Fig. 5). Mounting holes were prepared in the blank before starting the experiments,

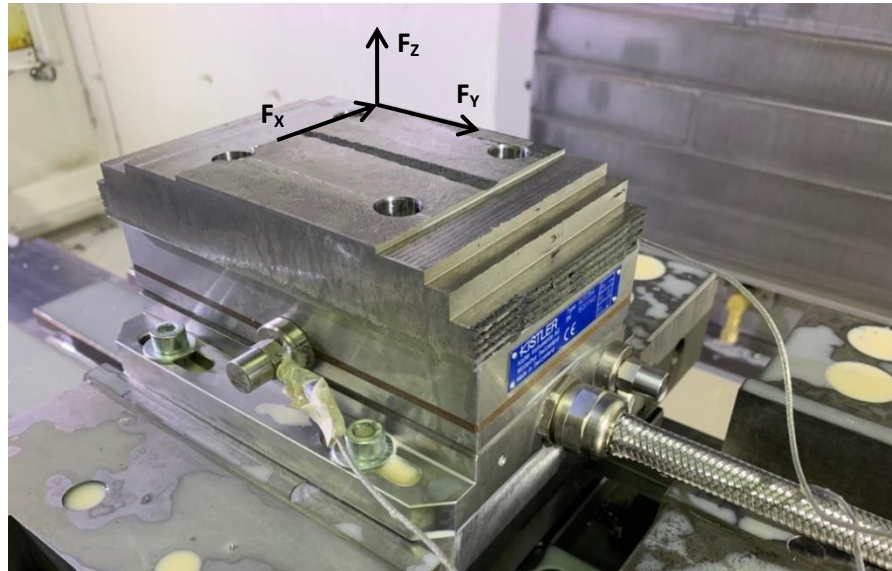


Fig. 5. The billet on a dynamometer

When choosing an optimal cutting speed to solve the second problem, the processing was performed in three modes: $V1 = 25 \text{ m / min}$; $V2 = 35 \text{ m / min}$ and $V3 = 50 \text{ m / min}$. At the same time, the feed per tooth, the depth and width of milling remained constant: $S_z = 0.04$; $B = 4$; $t = 1$. At the same time intervals, wear of the cutters was measured.

The scheme of the associated milling was chosen for the work, since the resistance of the cutter in this case is the greatest [2].

To determine the optimal ratio of depth and width of milling, at which the resistance of the cutter will be the highest, three variants of the ratio t to B were taken under the condition of the same volume of the layer being cut per unit of time, that is, modes that provide the same productivity. The ratios shown in Figure 6 were compared.

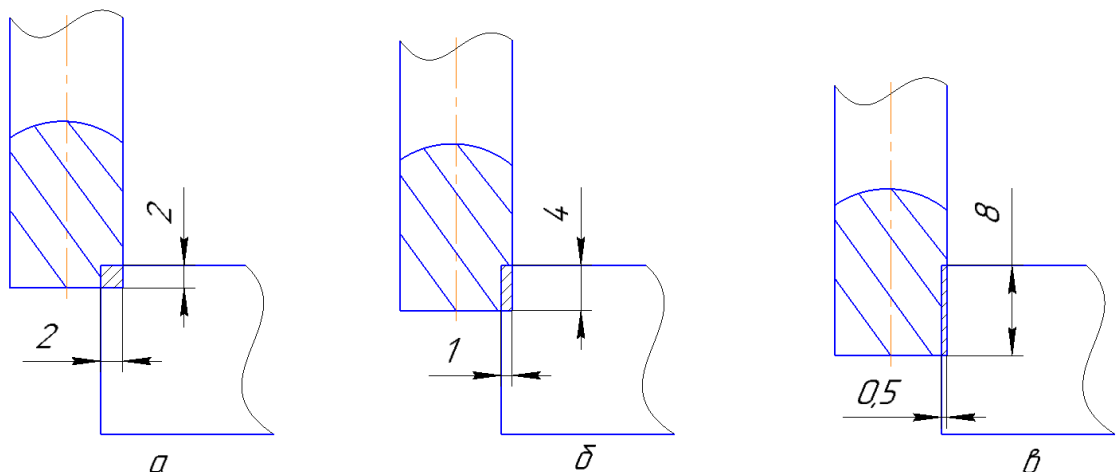


Fig. 6. Milling schemes

So for the cutter №1, the depth and width of the milling were as follows: $t = 2$ mm and $B = 2$ mm, respectively. For the cutter №2, the depth was $t = 1$ mm, therefore, the width increased to $B = 4$ mm. With the cutter №3 the depth was $t = 0.5$ mm, the width was equal to $B = 8$ mm.

Data collection and analysis was performed using DynoWare software (Kistler, Switzerland). Data processing was performed in Microsoft Excel.

References

1. Baranchikov, V.I., Tarapanov, A.S., Kharlamov, A.A. Processing of special materials in mechanical engineering: A Handbook. Library of a technologist. - M.: Mechanical engineering, 2002. 264 p.
2. Granovsky, G.I., Granovsky, V.G. Metal Cutting: A Textbook for the mechanical engineering and instrument making universities. - M.: High School, 1985. - 304 p.
3. Maslennikov S. B. Heat-resistant steels and alloys. Reference edition. M.: Metallurgy, 1983. 192 p.
4. Chawla N., Shen Y. L. Mechanical behavior of particle reinforced metal matrix composites //Advanced engineering materials. – 2001. – T. 3. – №. 6. – C. 357-370.
5. Promakhov V. et al. Inconel 625/TiB2 Metal Matrix Composites by Direct Laser Deposition //Metals. – 2019. – T. 9. – №. 2. – C. 141.
6. Zhang B. et al. Microhardness and microstructure evolution of TiB2 reinforced Inconel 625/TiB2 composite produced by selective laser melting //Optics & Laser Technology. – 2016. – T. 80. – C. 186-195.
7. HEM Guidebook [Electronic source]: electronic manual on the site, 2017. – URL: <https://www.harveyperformance.com/in-the-loupe/hem-guidebook-download/> (date of the application: 07.05.2019).
8. High-efficiency milling speed changes rules [Electronic source]: article on the site, 2018. – URL: <https://www.canadianmetalworking.com/article/cuttingtools/high-efficiency-milling-speed-changes-rules> (date of the application: 07.05.2019).
9. Optimize Cutting Efficiency, Optimize Throughput [Electronic source]: article on the site, 2005 - URL: <https://www.mmsonline.com/articles/optimize-cutting-efficiency-optimize-throughput> (date of the application: 07.05.2019).
10. High Speed Machining Vs. HEM [Electronic source]: article on the site, 2017 - URL: <https://www.harveyperformance.com/in-the-loupe/high-efficiency-milling-vs-high-speed-machining/> (date of the application: 07.05.2019).

11. Sandvik Coromant – Textbook for the course "Technology of metal cutting": a manual. Publishing house Sandvik Coromant: 2009. - 359 p.

12. High Efficiency vs. High Feed Milling: Which is More Productive? [Electronic source]: article on the site, 2018 - URL: <https://www.mmsonline.com/articles/high-efficiency-vs-high-feed-milling-which-is-more-productive> (date of the application: 07.05.2019).